

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Mika Pirhonen

Aurinkosähköjärjestelmän käyttömahdollisuus Pohjois-Karjalan
Osuuskaupan Siilaisen toimipisteessä

Opinnäytetyö
Tammikuu 2017



OPINNÄYTETYÖ

Tammikuu 2017

Ympäristötekniikan koulutus

Karjalankatu 3

Tekijä

Mika Pirhonen

Nimeke

Aurinkosähköjärjestelmän käyttömahdollisuus Pohjois-Karjalan Osuuskaupan Siilaisen toimipisteessä

Toimeksiantaja

Pohjois-Karjalan Osuuskauppa

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä mitoitettiin, laskettiin ja selvitettiin aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta S-market kokoluokan kauppaliikkeeseen. Tavoitteena oli antaa toimeksiantajalle mahdollisimman kattava pohja ja tietoa aurinkosähköjärjestelmän hankintaa varten. Referenssikohteena käytettiin S-market Siilaista, josta oli saatavilla sähkön kulutustiedot kokonaiselta vuodelta. Market vastasi myös kylmälaitteistoltaan ja valaistukseltaan uusinta tekniikkaa ja näiltä osin sähkönkulutukseltaan nykyaikaista marketkiinteistöä. Toimeksiantajana opinnäytetyössä oli Pohjois-Karjalan Osuuskauppa, jolla kiinteistöjä on toimialueellaan yli 80.

Opinnäytetyö toteutettiin käyttämällä kirjallisia ja internet-pohjaisia lähdetietoja. Mitoituksessa käytetyt tiedot perustuvat kiinteistön maantieteelliseen sijaintiin ja kiinteistön sähkönkulutukseen. Auringon säteilyn tuottolaskelmat perustuvat EU-projektin PVGIS-laskurista saatuihin arvoihin ja aurinkosähköjärjestelmän tuottokaavat ovat ympäristöministeriön julkaisemassa Aurinko-opas 2012 laskennan oppaassa. Laskelmissa käytettiin valmista PV-simulaatio 3D laskenta- ja mitoitusohjelmaa.

Opinnäytetyön tuloksena esimerkkikohteen aurinkosähköjärjestelmän rakentaminen on kannattavaa, jos siihen saadaan ELY-keskuksen myöntämä investointituki. Tällä hetkellä yritysten saama investointituki on 25 % investoinnin hinnasta. Kiinteistönä oleva kauppa-
liike on myös hyvä kohde aurinkosähköjärjestelmälle, koska sähkön kulutus on suurinta, kun tuottokin on korkeinta. Sähkön hinnankehitys on tällä hetkellä maltillista, mutta jos hinta lähtee reilummin nousuun, tulee investoinnista aina vain kannattavampi.

Kieli
suomi

Sivuja 48
Liitteet 2

Asiasanat

Aurinkoenergia, aurinkopaneelit, aurinkosähköjärjestelmä, kannattavuus



THESIS

January 2017

**Degree Programme in
Environmental Technology**

Karjalankatu 3 FI 80200 JOENSUU

Author

Mika Pirhonen

Title

Feasibility study of implementing a photovoltaic electricity system in North Karelia regional co-operative Siilainen

Commissioned by

PKO (PKO is a cooperative owned by its North Karelian members.)

Abstract

The scope of this thesis was to study, dimension and calculate the profitability of using a photovoltaic electricity system in a cooperative shop S-market. The aim was to give the commissioner a solid base of knowledge for the acquiring of photovoltaic electricity system. S-market Siilainen was used as a reference with its electricity consumption statistics for one calendar year. The cooling equipment and lighting solutions in this market represent the latest technology, and the electricity consumption is of a modern commercial building. The commissioner, PKO, has over 80 real estates in the region.

In this thesis printed and internet based sources were used. Information used in the dimensioning of the system is based on the geographical location and electricity consumption of the building. Solar radiation productivity calculations are based on values from PVGIS counter of the EU project and productivity calculation formulas of photovoltaic electricity system are taken from Solar Guide 2012 calculation handbook, published by the ministry of environment. A ready-made PV simulation 3D calculation and dimensioning program was used in the calculations.

As a result of this thesis, it has been stated that the implementation of photovoltaic electricity system is profitable if an investment support is granted by Center for Economic Development, Transport and the Environment. At the moment investment support for companies is 25% of the costs of the investment. Co-operative shop is a good target for a photovoltaic electricity system as the consumption of energy is at largest when the incomes are at highest too. At this moment price development of electricity is moderate, but the more the price of electricity increases the more profitable the investment will be.

Language
Finnish

Pages 48
Appendices 2

Keywords

Solar energy, solar panels, photovoltaic electricity system, profitability

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Opinnäytetyön keskeiset käsitteet	6
3	Aurinkoenergia.....	8
3.1	Auringonpaiste Suomessa	9
3.2	Auringonsäteilyn määrä Suomessa	9
4	Aurinkosähköjärjestelmä	12
4.1	Aurinkokennot.....	13
4.2	Aurinkokennojen hyötysuhde.....	15
4.3	Aurinkosähköpaneeli	16
4.4	Paneelien teho.....	16
4.5	Paneelien taustan tuuletus	17
4.6	Aurinkopaneelien tekninen elinikä	17
4.7	Verkkoinvertteri.....	17
4.8	Aurinkopaneelien kaapelointi.....	18
5	Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon laskenta ja laskentamenetelmien kuvaus.....	19
6	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja asennus	22
6.1	Mitoitusmenetelmiä.....	23
6.2	Paneelien sijoittaminen.....	23
6.3	Aurinkopaneelien kiinnittäminen	24
6.4	Aurinkopaneelien huolto ja kunnossapito	25
7	Hajautettua sähkön pientuotantoa	26
7.1	Sähköverkkoon liittymisen vaatimukset	27
7.2	Tuotetun ylijäämäsähkön myynti.....	28
8	Rakennusluvan tarve aurinkosähköjärjestelmälle	28
9	Sähkön hinta ja sähkön hintakehitys.....	29
10	Energiatuet yrityksille	31
12	Opinnäytetyön toteutus, työtavat ja menetelmät	33
13	Mitoitettava kiinteistö.....	35
13.1	Kiinteistön sähkönkulutus	36
14	Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja aurinkosähköjärjestelmän tuotto	38
15	Investoinnin kannattavuus	41
15.1	Investointilaskelma diskonttaamalla.....	41
15.2	Investointilaskelma sisäisen korkokannan menetelmässä	43
16	Pohdinta.....	44
	Lähteet	46

Liitteet

Liite 1	Aurinkosähköpaneelin AS-6P30 tekniset tiedot
Liite 2	Invertteri ABB TRIO-27.6-TL-OUTD tekniset tiedot

1 Johdanto

Auringolla tuotettu sähköenergia on osa tämän päivän hajautettua energian tuotantoa. Laitteiden ja järjestelmien kehittyminen sekä hintojen aleneminen ovat tehneet aurinkosähköjärjestelmän hankinnasta kannattavaa. Järjestelmien pitkä käyttöikä ja huoltovapaus puoltavat myös investoinnin kannattavuutta.

Uusiutuva energia kasvoi vuonna 2015 ennätystahtia. Etenkin aurinkoenergiasta tuli entistä suosittumpaa, sillä sen kasvu vuonna 2015 maailmanlaajuisesti oli 37 prosenttia. Aurinkoenergian lähes 40 prosentin kasvua selittää erityisesti aurinkopaneelien hinnanlasku. (Yle 2016.) Aurinkosähkön tuottaminen on täysin saasteetonta ja hiilivapaata. Päästöjä tulee vain laitteistojen ja tarvikkeiden valmistamisesta. Näin aurinkosähkön käyttäminen on yritykselle varmasti myös imagokysymys.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on mitoitaa aurinkosähköjärjestelmä ja selvittää sen kannattavuus S-marketin kokotasolla. Sen tarkoituksena on antaa toimeksiantajalle pohjaa ja kattavaa tietoa mahdollisiin tuleviin toimitilaprojekteihin ja myös sovellettavuutta jo rakennettujen kiinteistöjen varustamiseen aurinkosähköjärjestelmällä.

Tarkoituksena on myös selvittää mahdollinen rakennuslupien tarve, yritystukien saatavuus ja ylijäämäsähkön myyntimahdollisuus sähköyhtiön verkkoon.

Laskelmien pohjana käytetään Joensuun S-market Siilaisen sähkönkulutustietojä. Kyseinen market on työn referenssikohde, sillä siitä on saatavissa kulutustiedot jo kokonaisuutelta vuodelta ja se on mahdollisimman lähellä sähkönkulutukseltaan nykyaikaisia marketkohteita. Kiinteistö on varustettu nykyaikaisilla kylmälaitteilla ja valaistus on led-tekniikkaa, joten sähkönkulutus on näiltä osin mahdollisimman alhainen. Kohteen kattopinta-ala ja asennettavien paneelien asennuskulma sekä asennuspaikan auringonsäteilytiedot ovat oleellisissa roolissa laskelmissa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Pohjois-Karjalan Osuuskauppa PKO. Pohjois-Karjalan Osuusliike perustettiin keväällä 1919. Se, muutti myöhemmin nimensä Pohjois-Karjalan Osuuskaupaksi. PKO:lla on toimipaikkoja yli 80 ympäri Pohjois-Karjalaa, pois lukien Juuka, Nurmee ja Valtimo. (Tuominen 2009.)

2 Opinnäytetyön keskeiset käsitteet

Aurinkokennot ovat aurinkosähkötekniikan peruselementtejä. Ne ovat puolijohdekomponentteja. Ne tuottavat tasasähköä ja niiden toiminta perustuu ns. valosähköiseen ilmiöön. Aurinkokennon tavallisimpana raaka-aineena käytetään piitä. (Erat ym. 2008, 120.)

Aurinkosähköjärjestelmä voi olla omavarainen (autonominen) tai yleiseen sähköverkkoon kytketty. Sen tehonlähteenä toimii aurinkosähköpaneelisto, joka syöttää tasasähkökuormia suoraan. Vaihtosähköksi se saadaan muutettua vaihtosuuntaajan eli verkkoinvetterin kautta. Aurinkosähköjärjestelmä voi toimia myös molemmilla tavoilla samanaikaisesti. (Erat ym. 2008, 116.)

Aurinkosähköpaneeli koostuu useista pienistä aurinkokennoista, jotka on kytketty yhteen. Se on pienin aurinkosähkön tuotantoyksikkö, joka on suojattu ympäristöltään ja tuottaa tasavirtaa. (Tahkokorpi ym. 2016, 202.)

Herkkyysanalyysiä käytetään taloudellisissa laskelmissa riskin arviointimenetelmänä, jolla voidaan arvioida jossakin laskelmassa esiintyvän muuttujan muutoksen vaikutusta mallin lopputulokseen (Virtuaaliammattikorkeakoulu).

Mikrotuotannolla tarkoitetaan kiinteistön sähköverkkoon liitettyä sähköntuotantolaitteistoa, kuten aurinkosähköjärjestelmää tai tuulivoimalaa. Yhteisteholtaan tällainen sähköntuotantolaitteisto voi olla suuruudeltaan enintään 100 kVA. Mikrotuotannolle on tyypillistä, että aurinkosähköjärjestelmän tuottamaa

sähköä saataisiin kulutettua mahdollisimman paljon kohteen omassa käytössä. (Caruna Oy.)

Nykyarvomenetelmä tarkoittaa kannattavuuslaskelmissa, että vuotuiset nettotuotot muutetaan diskonttaamalla investointiajankohdan rahamääräksi eli nykyarvoiksi. Näiden vuotuisten nykyarvojen yhteenlaskettua määrää kutsutaan nykyarvosummaksi. Nykyarvosummaa verrataan investoinnin hankintamenoon. Investoinnin nykyarvosumman ollessa suurempi kuin investoinnin hankintameno, niin investointi on kannattava. (Virtuaaliammattikorkeakoulu.)

PV-Gis on ilmainen aurinkosähkölaskuri. Se on maantieteellinen ja karttapohjainen tietojärjestelmä. Sen Euroopan alueen versiolla voidaan laskea päivä- ja kuukausikeskiarvotuotto-odotus tiettyyn osoitteeseen satelliittimittauksiin ja lämpötilatilastoihin perustuen. (Aurinkosähköä Suomeen.)

Sisäinen korkokanta on investointilaskentamenetelmä. Tässä menetelmässä haetaan korkokantaa, jolla diskonttaamalla vuotuisten nettotuottojen nykyarvoksi tulee nolla. Sisäisen korkokannan ollessa suurempi kuin tuottovaatimus on investointi kannattava. Menetelmä soveltuu erityisen hyvin omalla pääomalla rahoitettavien investointien kannattavuuden laskentaan. (Virtuaaliammattikorkeakoulu.)

Sähkön kulutusprofiili on tarkkaa tietoa kohteen sähkön kulutuksesta. Suomessa se on mahdollista saada tuntikohtaisena, joten se takaa hyvän ja tarkan pohjan aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen.

Verkkoinvertterin tehtävänä on muuttaa aurinkopaneelien tuottama tasasähkö (DC) vaihtosähköksi (AC). Verkkoinvertterin asennus voidaan suorittaa talon seinään ulos tai sisälle. Verkkoinvertteri kytketään aurinkosähköjärjestelmässä kaksoiseristetyillä tasavirtakaapeleilla aurinkopaneeleihin. Sähkömittarilta eteenpäin kytkentä tehdään 3-vaihe- tai 1-vaihekaapeleita käyttäen. Tämä mahdollistaa oman aurinkosähkön käytön itse ja ylijäämäsähkön myymisen sähköverkkoon automaattisesti ilman ylimääräisiä kytkimiä tai akkuja. Tällä ta-

voin aurinkosähköjärjestelmä on mahdollisimman yksinkertainen ja kustannuksiltaan tehokas. (Aurinkosähköä Suomeen.)

3 Aurinkoenergia

Aurinko on kaasupallo, jonka ulkokuoren muodostavat pääasiassa vety (75 %) ja helium (23 %). Tutkimuksen mukaan loppuosa auringon kuoresta sisältää alkuaineista mm. natriumia, rautaa, kalsiumia, magnesiumia, nikkeliä, bariumia, kuparia, typpeä, hiiltä ja myös kemiallisia yhdisteitä, joita ei esiinny maapallolla. (Erat ym. 2008, 10.)

Auringon energia perustuu fuusioon eli lämpöydinreaktioon, jossa neljästä vetyatomista muodostuu yksi heliumatomi. Fuusioista yli jäänyt massa muuttuu osittain energiaksi. Fuusio tapahtuu 10 miljoonan asteen lämpötilassa ja antaa auringolle $3,846 \times 10^{23}$ kW ominaistehon. Tästä säteilee maapallolle $1,7 \times 10^{14}$ kW, joka vastaa 20 000 kertaisesti ihmiskunnan tämänhetkisen energiankulutuksen tarpeen. (Aurinkoenergia.fi 2015.)

Auringosta tuleva energia on säteilyn tuomaa lämpö- ja valoenergiaa. Se sisältää koko sähkömagneettisen säteilyn spektrin. Auringon maapallolle säteilemästä energiasta noin 19 % imeytyy ja häviää ilmakehään. Säteilyn pääsyä maahan estävät lisäksi pilvet. Suomessa maahan asti pääsee keskimäärin noin vajaa 200 W/m^2 , mutta keväällä tehonnousu on parhaimmillaan jopa nelinviisinkertainen. (2016 NeroWatt Oy.)

3.1 Auringonpaiste Suomessa

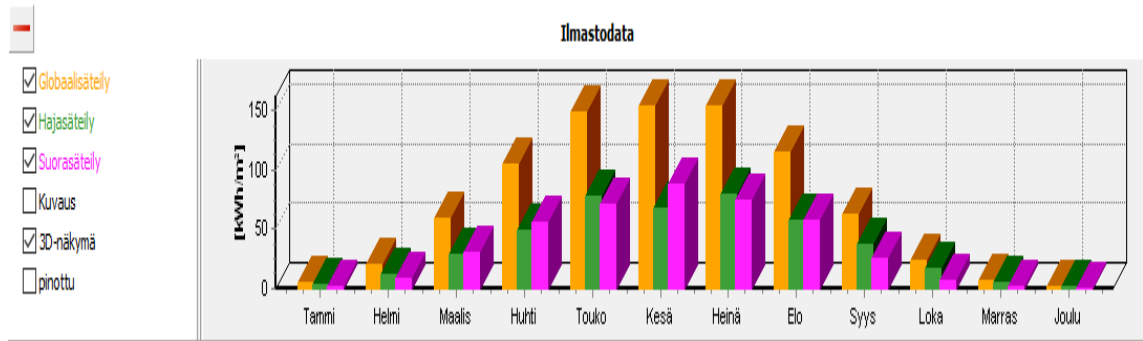
Ilmatieteen laitos on tehnyt tilastoja auringonpaisteesta eri puolilla Suomea olevissa mittauspisteissä jo monien vuosien ajan. Auringonpaistetuntien määrä mitataan tunteina kuukaudessa. Niille on laskettu 30 vuoden ajalta (1971–2000) kuukausi- ja vuosikeskiarvot.

Auringonpaistetunneissa on suuria vaihteluita eri vuodenaikoina. Joulukuussa, päivän ollessa lyhimillään, aurinko paistaa Helsingissä enimmillään vain reilut viisi tuntia vuorokaudessa, mutta kesäkuussa paistetta on melkein 20 tuntia. Sodankylässä Pohjois-Suomessa suoraa auringonpaistetta ei ole kaamosaikana lainkaan. Kesäaikana kun taas aurinko ei laske ollenkaan, paistetta voi kertyä vuorokaudessa 24 tuntia. Auringonpaistetuntien määrän vaihtelu on voimakasta myös eri vuosina, jopa 30 %. Joensuussa auringonpaistetunteja toukokuun ja elokuun välisenä aikana jaksolla 1971–2000 oli 983 tuntia. (Suntekno 2012a.)

3.2 Auringonsäteilyn määrä Suomessa

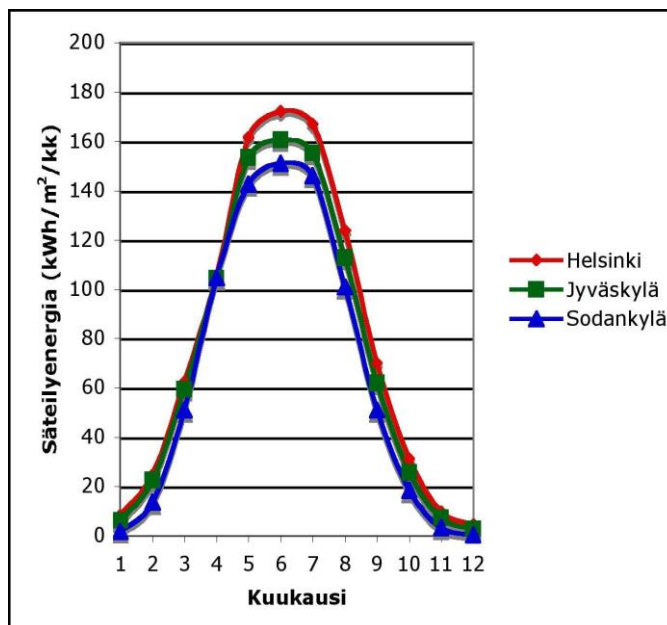
Auringosta tuleva kokonaissäteily koostuu suoraan tulevasta säteilystä ja hajasäteilystä. Hajasäteily muodostuu ilmakehän ja pilvien heijastamasta säteilystä sekä maasta heijastuvasta hajasäteilystä.

Suomessa merkittävä osuus kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Aurinkopaneelien tuotannolle ei ole merkitystä, onko niille tuleva säteily suoraa vai hajasäteilyä. Hajasäteilyn suuri osuus kokonaissäteilystä vaikuttaa kuitenkin siihen, että keskittävät aurinkosähköjärjestelmät sekä aurinkoa seuraavat (tracking) järjestelmät eivät ole Suomessa taloudellisesti kovinkaan järkeviä. Tällaiset järjestelmät toimivat parhaiten, kun suoraa säteilyä pystytään hyödyntämään tehokkaasti. (Motiva Oy 2016a.)



Kuva.1 Auringonsäteilymäärät Joensuussa: Kokonaissäteily, hajasäteily ja suorasäteily. (Kuva: PV-Simulation mallinnus.)

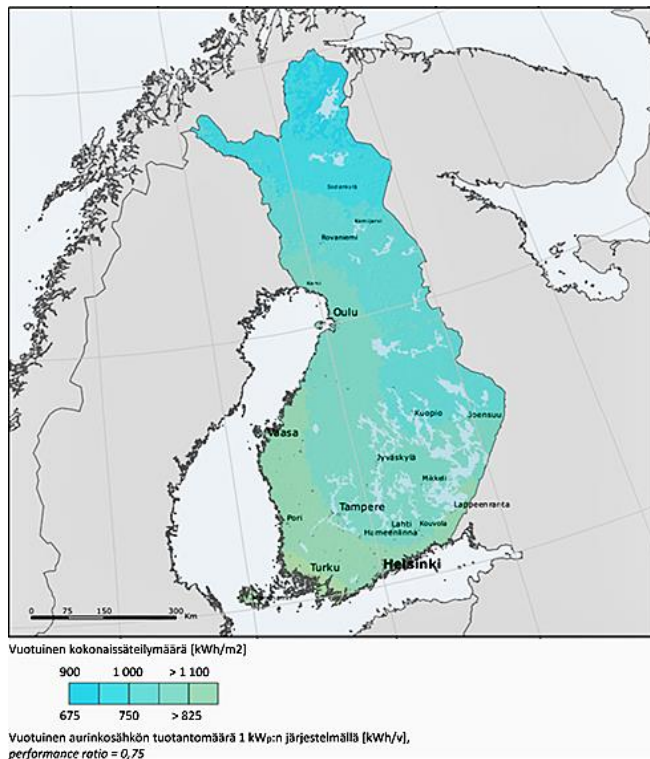
Ilmatieteen laitoksen testivuoden mukaan Helsingissä säteilyä vaakasuoralle pinnalle saadaan noin 980 kWh/m² ja Sodankylässä noin 790 kWh/m² ja Keski-Suomessa määrä on noin 890 kWh/m². Etelä-Suomen vuotuisen kokonaissäteilyn määrä on lähes samaa suuruusluokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Suomessa säteily keskittyy kuitenkin eteläisempää Eurooppaa vahvemmin kesäkuukausille, joten tuotanto vaihtelee meillä enemmän vuodenaikojen mukaan. (Motiva Oy 2016 a.)



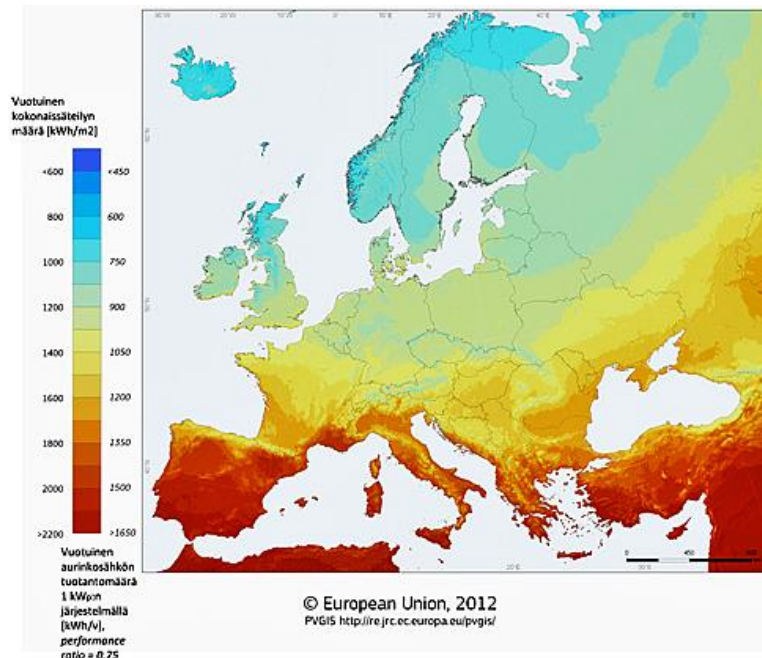
Kuvio 1. Kuukausittainen auringon säteilyn määrä vuosina 1971–2000 (Kuva: suntekno).

Voimakkaammillaan auringon säteily on Suomessa touko-heinäkuun välisenä aikana, kun taas tammi- ja helmikuussa sekä loka- ja joulukuun välisenä aikana

se on vähäistä. Parhaimpana säteilyaikana touko-heinäkuussa saadaan auringon säteilyenergiaa kohtisuoralle pinnalle Etelä-Suomessa keskimäärin 160–170 kWh/m² kuukaudessa, Keski-Suomessa 150–160 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa 140–150 kWh/m². Huonoimpina talvikuukausina loka-tammikuun välisenä aikana säteilyenergia määrä jää yleensä alle 30 kWh/m². (Suntekno 2012b).



Kuva 2. Vuotuinen auringon säteily määrä optimaalisesti suunnatulle ja kalistatulle pinnalle Suomessa. Alkuperäinen kuva: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) – Joint Research Centre. (Kuva: Motiva 2015.)

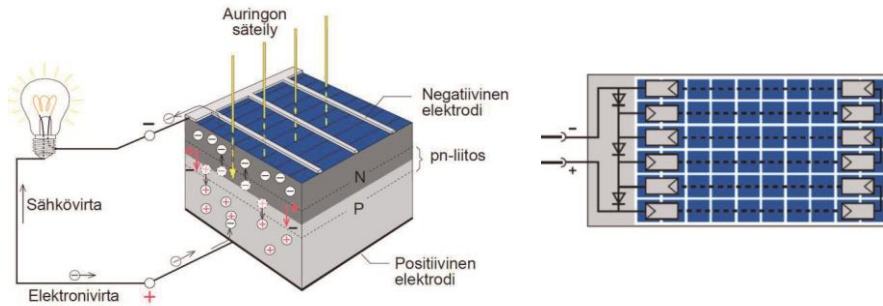


Kuva 3. Auringon säteily Euroopassa. Alkuperäinen kuva: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) – Joint Research Centre. (Kuva: Motiva Oy)

4 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmä voidaan rakentaa omavaraiseksi ilman verkkoon kytkentää tai verkkoon kytketyksi. Tehonsa järjestelmä saa aurinkosähköpaneelistosta. Se voi syöttää tasasähkökuormia suoraan, vaihtosähkökuormia vaihtosuuntaajan eli verkkoinvetterin kautta tai molempia. (Erat ym. 2008, 116.)

Aurinkopaneelien avulla Auringon säteilyenergiaa saadaan muutettua sähköenergiaksi. Tarjolla olevat kaupalliset aurinkopaneelit ovat yleensä joko pii- tai ohutkalvokennoista koottuja. Yleisin käytössä oleva aurinkokennomateriaali on pii. Aurinkokennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön. Auringonsäteilystä tulevat fotonit antavat energiaa kennossa oleville elektroneille, ja pn-liitoksen ansiosta ne jakaantuvat liitoksen toiselle puolelle positiivisten energia-aukkojen jäädessä liitoksen toiselle puolelle. Seuraavaksi elektronit kulkeutuvat ulkoiseen sähköpiiriin saaden aikaan sähkövirran. (Aurinkosähköopas tamperelaisille, 3.)



Kuva 4. Aurinkokennon toimintaperiaate sekä sarjaan kytkettyjen kennojen muodostama aurinkopaneeli. (Kuva: Aurinkosähköopas tamperelaisille).

Aurinkopaneelien tuottama tasasähkö voidaan muuttaa vaihtosuuntaajan eli invertterin avulla vaihtosähköksi. Vaihtosähkö voidaan taas hyödyntää yleiseen sähköverkkoon liitetyissä kohteissa. Omasta ja kulutuksesta yli jäänyt sähkö voidaan syöttää verkkoon, mutta järkevää on kuitenkin pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman suuri osuus tuotetusta sähköstä itse. (Motiva Oy 2016 c.)



Kuva 5. Verkkoon kytketyn kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano pääpiirteittäin (Kuva: Motiva Oy).

4.1 Aurinkokennot

Aurinkosähköteknologioista puhuttaessa, ne jaetaan yleensä kolmeen sukupolveen. Ensimmäistä sukupolvea ovat yksi- ja monikiteiset piikennot. Toisen sukupolven aurinkokennoja ovat ohutkalvoaurinkokennot. Ensimmäisen ja toisen sukupolven aurinkokennojen teknologia perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohdeiden pn-liitoksen aikaansaamaan sähkökenttään.

Kolmannen sukupolven aurinkokennot eivät vielä ole vielä yleisessä käytössä, vaan ne ovat tutkimus- ja kehitystasolla. Tällaisista voidaan mainita esimerkkinä nanokidekennot (joita kutsutaan myös väriaineherkistetyiksi aurinkokennoiksi tai Grätzel-kennoiksi). Nanokidekennoissa ei ole pn-liitoksia, eikä niiden aikaansaama sähkökenttä, vaan niissä elektronit liikkuvat kemiallisten reaktioiden ansiosta. (Motiva 2016d.)

Yksikidekennot on yksikiteisestä piistä sahattuja, alun perin pyöreitä piikiekköjä. Pyöreistä kiekkoista leikataan palat pois, jotta aktiivinen pinta-ala saadaan suuremmaksi. Puolijohteen kiderakenne on yhtenäinen ja tästä syystä hyötysuhde on hyvin korkea. (Käpylehto 2016, 57.)

Monikiteinen aurinkokenno on helpompi käsitellä ja siitä saadaan helpommin juuri sopivankokoinen. Koko aurinkopaneelien pinta-ala onkin katettavissa monikidepaneelilla. Kiderakenne ei ole samalla tavalla suunnan kannalta yhtenäinen, kuin yksikiteisessä aurinkokennossa ja tämä vaikuttaa siihen, että hyötysuhde on pienempi. Toisaalta varjostuksesta ei tule niin suurta haittaa, ja eri suunnista tuleva valo, kuten hajasäteily muuttuu helpommin hyödynnettäväksi sähköksi monikidepaneelilla. (Käpylehto 2016, 57.)



Kuva 5. Kuvassa alhaalla vasemmalla on yksikiteisestä piistä ja oikealla monikiteisestä piistä tehty aurinkokenno. Ylhäällä on yksikiteisistä kennoista valmistettu aurinkopaneeli. (Kuva: Aurinkoenergiaa 2015.)

Ohutkalvokennojen valmistus perustuukin juuri siihen, että lisätään edulliselle pohjamateriaalille niiden nimenmukaisesti hyvin ohuita kerroksia valoherkkää

ainetta. Pohjamateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi lasia, ruostumatonta terästä tai muovia. (Motiva 2016e.)

4.2 Aurinkokennojen hyötysuhde

Aurinkopaneelien hyötysuhteella tarkoitetaan, kuinka suuren osan siihen osuvasta Auringon (tai muun valonlähteen) säteilyintensiteetistä se pystyy muuttamaan sähköenergiaksi. Eri paneelivalmistajien ilmoittamissa paneelien hyötysuhteissa ei ole kovinkaan suuria eroja. Aurinkopaneelien hyötysuhteella ei ole siis niin paljon merkitystä kuin luulisi. Hyötysuhdetta olennaisempaa onkin selvittää mitä aurinkosähköjärjestelmällä tuotetun sähkön hinnaksi tulee. (Käpylehto 2016, 57,59.)

Kennojen hyötysuhteeseen vaikuttava tekijä on myös ympäröivän ilman lämpötila. Kiteisestä piistä valmistettujen kennojen hyötysuhde paranee viileässä suhteellisesti enemmän kuin ohutkalvokennojen, jotka eivät lämpötilasta juurikaan hyödy. (Motiva Oy 2016f.)

Yleisimpänä aurinkokennojen valmistusmateriaalina käytetään yksi- tai moniki-teistä piitä. Teknologia on vakiintunutta ja siitä on paljon kokemusta. Noin 90 prosenttia tarjolla olevista aurinkokennoista on piikidekennoja. Piikidekennoista valmistettujen aurinkosähköpaneelien hyötysuhde on kaupallisissa sovelluksissa tavallisesti 15–17 % luokkaa. (Motiva Oy 2016f.)

Ohutkalvopaneeleilla pystytään keräämään hajasäteilyä hiukan tehokkaammin kuin kiteisen piin paneeleilla, mutta tällä ei juurikaan ole vaikutusta vuositasolla. Ohutkalvopaneelit ovat myös enemmän valoa läpipäästäviä, tästä johtuen auringonsäteilyä ei saada hyödynnettyä sähköntuotantoon yhtä hyvin kuin kiteiseen piihin perustuvilla paneeleilla. Hyötysuhde ohutkalvokennoista kootuilla aurinkopaneeleilla on noin 9-11 %. (Motiva Oy 2016f.)

4.3 Aurinkosähköpaneeli

Aurinkopaneelien valmistus tapahtuu kytkemällä yksittäisiä aurinkokennoja sarjaan siten, että niistä saadaan verkkoon kytketyissä järjestelmissä yleensä noin 200–330 piikkiwatin nimellistehoinen paneeli. Kapseloimalla kennosto sitten ilmatiiviisti lasin alle ja kehystämällä tämä saadaan siitä mekaanisesti ja ympäristöolosuhteita kestävä. (Tahkokorpi 2016, 137.)



Kuva. 6 Aurinkopaneelin rakenne (Kuva: Aurinkolämpö -ja aurinkosähkö oppi 8.4.2014, Jodat ympäristöenergia Oy).

4.4 Paneelien teho

Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina (W_p), joka kertoo paneelin tehon standardiolosuhteissa (STC). Tämä ei kuitenkaan tarkoita paneelin maksimitehoa, sillä paneeli voi säteilystä ja lämpötilasta riippuen tuottaa pitkiäkin aikoja selvästi nimellistehoaan enemmän. (Tahkokorpi 2016, 138.)

Standardiolosuhteilla tarkoitetaan, kun säteily on $1\,000\text{ W/m}^2$. Tämä vastaa säteilyä hyvissä olosuhteissa kohtisuoraan maanpinnalle. Paneelikennojen lämpötila on $+25\text{ °C}$, koska kennot lämpiävät $1\,000\text{ W/m}^2$ säteilyssä, tämä vastaa noin $-5\text{ °C} \dots +5\text{ °C}$ ympäristölämpötilaa. Auringon säteilyn spektri vastaa spektriä, joka syntyy, kun säteily suodattuu ilmakehässä matkan, joka on 1,5 kertaa ilmakehän paksuus. Suomessa tällaiset olosuhteet voivat esiintyä kirkkaana ja kylmänä kevät- ja syyspäivänä. (Tahkokorpi 2016, 139.)

4.5 Paneelien taustan tuuletus

Aurinkopaneelien asennuksessa tulisi ottaa huomioon, että se jäisi mahdollisimman hyvin tuulettuvaksi taustaltaan. Tämä varmistetaan jättämällä vapaa ilmarako paneelien ja niiden takana olevien rakenteiden väliin. Huonosti tuulettuva rakenne nostaa paneelien lämpötilaa, mikä vaikuttaa varsinkin kiteisen piin paneelien hyötysuhteen selvään laskuun. (Motiva Oy 2016e.)

4.6 Aurinkopaneelien tekninen elinikä

Aurinkopaneelien tekninen elinikänä pidetään jo yli 30 vuotta, ja paneelien tehontuottotakuuksi luvataan jopa 25 vuotta. Tehontuottotakuun ehdot vaihtelevat eri valmistajilla. Pääsääntöisesti takuulla varmistetaan, että paneelien tuotto on ensimmäiset 10 vuotta vähintään 90 % valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta, ja 25 vuoden ajalla tuotto on vähintään 80 % valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta. Muiden komponenttien iästä voidaan sanoa, että esimerkiksi invertterien ja akkujen elinikä on noin puolet paneelien eliniästä. (Motiva Oy 2016e.)

4.7 Verkkoinvertteri

Verkkoinvertteri tehtävänä on muuttaa aurinkopaneelien tuottama tasasähkö (DC) vaihtosähköksi (AC). Verkkoinvertteri asennus voidaan tehdä rakennuksen seinään ulos tai sisälle. Se kytketään aurinkosähköjärjestelmässä kaksoiseristetyillä tasavirtakaapeleilla aurinkopaneelien perään ja tavallisella 3-vaihe- tai 1-vaihekaapelilla kohteen sähkökeskukseen ostosähköä mittaavan sähkömittarin jälkeen. Tällä tavoin kytketty järjestelmä mahdollistaa oman aurinkosähkön käytön itse ja omasta kulutuksesta yli jäävän sähkön myymisen sähköverkkoon ilman ylimääräisiä kytkimiä tai akkuja. Näin järjestelmästä saadaan mahdollisimman yksinkertainen ja kustannustehokas. (Aurinkosähköä Suomeen.)

Tärkein invertterin ominaisuus on sen turvallinen toimivuus, ja se parantaa kohteessa olevan sähköverkon toimintaa. Invertterin tulee olla myös tehokas ja

muuntaa aurinkopaneelien tuottamasta tasasähköstä hyvälaatuista vaihtovirtaa mahdollisimman pienellä häviö osuudella. (Aurinkosähköä Suomeen.)

Hyvän laadukkaan verkkoinvertterin hyötysuhde on n. 97,5–98,5 %. Muodostuva häviö 1,5–2,5 % aurinkopaneelien tuottamasta sähköstä muuttuu invertterissä hukkalämmöksi. (Aurinkosähköä Suomeen.) Invertteri(t) joudutaan todennäköisesti vaihtamaan kerran paneelien eliniän aikana. Vaihtotyön saa tehdä vain luvat omaava sähköurakoitsija. (Motiva Oy 2016f.)

4.8 Aurinkopaneelien kaapelointi

Aurinkopaneelien johtimet valitaan tasajännitepuolelle aurinkosähköjärjestelmän oikosulkuvirran perusteella. Standardin SFS 6000-7-712 mukaan kaapelin ylikuormitussuojaus voidaan jättää pois paneeliketjukaapeleista, jos kaapelin jatkuva kuormitettavuus on vähintään 1,25 kertaa paneeliketjun oikosulkuvirta.

Kaapelit tulisi valita niin, että häviöt eivät ylitä 5 %. Mitä pidemmän matkaa johdinta joudutaan vetämään, sen paksumpi sen pitää olla, jotta häviöt eivät kasva liian suuriksi. (Suntekno Oy.) Aurinkosähköjärjestelmän kaapelit altistuvat sääolosuhteille, kuten esimerkiksi tuulelle, jäälle, lämpötilojen muutoksille ja auringon säteilylle. Näitä ulkoisia tekijöitä kaapelien tulisi kestää mahdollisesti koko järjestelmän eliniän. Suunnittelemalla hyvin johtoreitit, kiinnittämällä kaapelit huolellisesti sekä käyttämällä UV-kestoisia ja kaksoiseristettyjä kaapeleita, voidaan mahdollisimman tehokkaasti minimoida kaapelin ulkoiset rasiustekijät. (Isojunno 2014.)

5 Aurinkosähköjärjestelmän tuotannon laskenta ja laskentamenetelmien kuvaus

Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotanto voidaan laskea Ympäristöministeriön vuonna 2012 julkaiseman laskentaoppaan ohjeiden mukaisesti. Oppaan menetelmällä lasketaan aurinkosähkökennojen (PV-kennojen) tuottama sähköenergia.

Välttämättömiä lähtötietoja laskelmiin ovat: Kennojen pinta-ala, suuntaus ja kallistus, kennojen huipputehokerroin, tieto asennustavasta ja säteilyn määrästä vaakapinnalle. Laskentamenetelmä noudattaa standardin SFS EN 15316-4-6 menettelytapaa, mihin on liitetty kansalliset kertoimet ja taulukkoarvot.

Aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$E_{s, \text{pv, out}} = \frac{E_{\text{sol}} * P_{\text{maks}} * F_{\text{käyttö}}}{I_{\text{ref}}}$$

jossa

E_{sol} = vuosittainen säteilyenergia, joka kohdistuu aurinkosähkökennoihin [kWh/m²,a].

P_{maks} = aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{\text{ref}}=1$ kW/m², referenssilämpötilassa 25 °C) [kW].

$F_{\text{käyttö}}$ = käyttötilanteen toimivuuskerroin [-].

I_{ref} = referenssisäteilytilanne [1 kW/m²].

Vuoden aikana kennostoon kohdistuva auringonsäteilyn energia lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$E_{\text{sol}} = E_{\text{sol, hor}} * F_{\text{asento}}$$

jossa

$E_{sol, hor}$ = rakennuksen sijaintipaikasta riippuva vaakatasolle osuvan aurinkonsäteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa [$kWh/m^2, a$].

F_{asento} = aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-]. Taulukko 1. ja Taulukko 2.

Aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho P_{max} on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa. Menetelmä on kuvattu standartissa SFS-EN 61829.

Mikäli testattua tulosta ei ole käytettävissä, lasketaan P_{max} kaavasta

$$P_{max} = K_{max} * A$$

jossa

K_{max} = huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä [kW/m^2]. Taulukko 3

A = aurinkosähkökennon pinta-ala (ilman kehystä).

Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}$ ottaa huomioon aurinkokennon ympäristön tekijöitä, kuten sähköenergian inversion tasavirrasta vaihtovirtaan, kennon toimintalämpötilan vaikutuksen ja asennusympäristön vaikutuksen.

Menetelmä ei huomioi ympäristön ja rakennusten aiheuttamia varjostuksia aurinkokennoille, ja jos niitä esiintyy, ne huomioidaan korjaamalla kerrointa $F_{käyttö}$ varjostuksen suhteellisella määrällä koko kennoston pinta-alasta $(1 - A_{varjostus}/A_{kokonaisala})$.

Aurinkokennojen mahdollisen tarvitseman apuenergian kulutusta ei lasketa erikseen, ja aurinkokennojen tuottamassa energiassa on mukana ainoastaan nettoenergia.

Aurinkokennojen mahdollisesti tuottamaa lämpöä tai niistä talteen otettavaa lämpöä ei oteta huomioon rakennuksen energiataselaskennassa.

Aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin F_{asento} lasketaan kaavalla

$$F_{\text{asento}} = F_1 F_2$$

Kaavassa F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin ja F_2 on kallistuksen mukainen kerroin. (Ympäristöministeriö 2011).

Taulukko 1. F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin (-).

Suuntaus	F_1
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 2. F_2 on kallistuksen mukainen kerroin (-)

Kallistuskulma	Kerroin
< 30°	1
30°...70°	1,2
> 70°	1

Taulukko 3. Huipputehokerroin K_{max} , joka riippuu aurinkosähkökennontyyppistä (kW/m^2).

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin K_{max} kW/m^2
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12...0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10...0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04...0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe_2 kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys >80 %	

Taulukko 4. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}[-]$

aurinkokennon asennustapa	käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}[-]$
Tuulettamaton moduli	0,70
Hieman tuuletettu moduli	0,75
Voimakkaasti tuulettuva tai koneellisesti tuuletettu moduli	0,80

6 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja asennus

Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa on yleensä järkevää mitoittaa se niin, että tuotosta saadaan mahdollisimman suuri osuus hyödynnettyä omaan käyttöön ja sähköverkkoon syötettävä osuus jää mahdollisimman pieneksi kokonaistuotantoon verrattuna. Näin tämä on taloudellisesti kannattavinta ja hyöty saadaan mahdollisimman suureksi. Ratkaisevaa mitoitusta tehtäessä voi olla myös käytettävä asennuspinta-ala tai joissakin tapauksissa myös aurinkosähköjärjestelmän ulkonäkö on otettava huomioon. (Motiva Oy 2016g.)

Suomessa sähköenergian kulutusta mitataan lähes kaikissa käyttöpaikoissa tunti- ja vuorokauttasolla. Olemassa olevissa kohteissa kulutuksesta saatua mittaustietoa voidaan käyttää avuksi aurinkosähköjärjestelmän kokoa suunniteltaessa. Jo yhden vuodenkin mittaustiedon perusteella pystytään selvittämään kohteen vähimmäis- eli pohjakulutus riittävän hyvällä tarkkuudella. (Motiva Oy 2016g.) Aina kuitenkin päästään tarkempaan tulokseen, jos tietoja on saatavilla useammalta vuodelta.

Uutta rakennusta suunniteltaessa näitä mittaustietoja ei kuitenkaan ole saatavissa. Tässä tapauksessa on otettava referenssikohteeksi vastaavan rakennuksen käyttöprofiili sekä otettava huomioon uuden kohteen sähkölaitteet ja niiden energiankulutus. Näitä voidaan suhteuttaa vertauskohteen tietoihin. (Motiva Oy 2016g.)

6.1 Mitoitusmenetelmiä

Mitoituksella joka perustuu pohjakulutukseen, pyritään mahdollisimman lyhyeen takaisinmaksuaikaan. Tällöin paneelien yhteenlaskettu nimellisteho ei saisi ylittää pienintä jatkuvaa sähkötehon tarvetta (eli pohjakulutusta) päiväsaikaan. Yöllä hetkellinen tehontarve voi olla kuitenkin pienempi kuin paneelien nimellisteho. (Motiva Oy 2016h.)

Mitoituksen perustuessa keskimääräiseen tai enimmäiskulutukseen kesällä halutaan sillä kattaa mahdollisimman suuri osa kohteen sähköntarpeesta kesäaikana. Tässä mitoistavassa on varauduttava oman kulutuksen ylittävän reilummin ja ylijäämä sähköä tulee syötettäväksi enemmän sähköverkkoon. Tämä luonnollisesti heikentää järjestelmän kannattavuutta, koska aurinkosähkön tuottajalle maksetaan verkkoon syötetystä sähköstä tavallisesti vain sen markkina-arvo (pörssihinta), josta vähennetään sähköyhtiön perimä palvelumaksu. Omaan käyttöön tuotettu sähkö on myös arvokkaampaa, koska sillä vältetään ostosähkön siirtokustannuksia sekä osa veroista. (Motiva Oy 2016h.)

6.2 Paneelien sijoittaminen

Ohjeistukset aurinkosähköpaneelin tai -paneeliston sijoittamisesta eri paikkoihin ja eri käyttötarkoituksiin koskevat kaiken tyyppisiä järjestelmiä: omavaraisia, verkkoon kytkettyjä, pieniä ja isoja. Suomen leveysasteilla hyvänä kallistuskulmana voidaan pitää 30° – 90° vaakatasoon nähden, vaihdellen vuodenajan mukaan. Alle 15 asteen kallistuskulma ei ole suositeltava, koska tällöin pölyä, likaa tai lunta voi kertyä paneelin pinnalle häiritsemään sähköntuotantoa. Paras tuotto kesäaikana saadaan kallistuskulmalla 30° . Kallistuskulma 45° on taas paras, kun halutaan maksimoida vuotuinen sähköntuotto yhdellä paneelin asennolla. Kallistuskulmalla 75° – 90° saadaan taas talviaikaan paras sähköntuotto. (Erat ym. 2008, 145.)

Pääsääntöisesti voidaankin sanoa, että kun poiketaan 15 astetta optimikulmasta, vähentää se vuosituotantoa noin 5 % (Motiva Oy 2016). Tasakatoilla käytet-

tävissä telineissä 15 asteen kulma on yleensä suositeltavampi kuin tätä suurempi kallistus (Aurinkosähköä Suomeen). Tällä vältetään paneelien toistensa varjostusta, ja ne saadaan asennettua pienemmälle pinta-alalle.

Yleensä aurinkosähkövoimalan aurinkopaneelit suunnataan Suomessa etelään, mutta myös kaakosta ja lounaasta saadaan auringonsäteilyä hyvin. Aurinkopaneelien suuntausta itään tai länteen voidaan taas harkita tasakatolle tai loivalle katolle. Aurinkopaneelien suuntauksella ja niiden kallistuskulmalla on vaikutusta vuosituottoon ja siihen, miten tuotettu aurinkosähkö jakaantuu vuoden sisällä eri kuukausille ja tunneittain yhden vuorokauden sisällä. Etelään suunnatuilla aurinkopaneeleilla saadaan paras vuosituotanto ja tuoton huippu ajoittuu keskipäivälle. Suuntauksen muuttuessa itään tuotannon huippu aikaistuu aamupäivälle. Länteen päin suunnattaessa paras tuotto myöhentyy taas iltapäivälle. Jyrkästi itään päin suunnattu katto tiputtaa iltapäivän tuottoa ratkaisevasti. (Aurinkosähköä Suomeen.)

Kannattavinta paneelit onkin sijoittaa paikkaan, johon tulee eniten auringonvaloa. Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa onkin tärkeää ottaa huomioon, ettei paneeli tai mikään sen kennoista jää lähellä olevan esteen varjoon. Varjo vähentää voimakkaasti paneelien tuottoa. (Erat ym. 2008, 146.)

6.3 Aurinkopaneelien kiinnittäminen

Aurinkopaneelien kiinnityksessä on otettava huomioon paneelien 30 - 50 vuoden käyttöaika. Tämän vuoksi materiaaleina käytetään ruostumattomia ruuveja ja pultteja, jotta kiinnitys kestäisi laitteiston koko eliniän. Kiinnityksen tulee myös kestää rakenteeltaan pahimmat sääolosuhteet ja tuulet. Paneelien oma mekaaninen kestävyys on hyvä, kunhan ne eivät pääse liikkumaan eivätkä taipumaan.

Kaikille erilaisille kattomateriaaleille löytyy omat kiinnitysjärjestelmänsä, ja näitä käytetään yleensä silloin, kun järjestelmään asennetaan useita aurinkopaneeleja. (Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013.)

Asennettaessa paneeleita tasakatonle asennus mahdollisuuksia on useita. Vaihtoehtoisesti asennus voidaan tehdä kattorakenteisiin kiinnitettävillä tai rakenteiden päällä lisäpainojen avulla vapaasti kelluvalla kiinnitysjärjestelmällä. Vapaasti kelluvan ratkaisun etuna voidaan pitää sitä, että vesikate pysyy ehjänä eikä sitä tarvitse läpäistä. Tällaisessa asennuksessa asennustelineet tarvitsevat kuitenkin lisäpainoja. Kattorakenteiden kantavuus tuleekin selvittää ennen asennusta ja uudisrakentamisessa ottaa huomioon kattorakenteiden suunnitteluvaiheessa. Tällä varmistetaan katon kestävyys aurinkosähköjärjestelmän tuomalle lisäpainolle. (Rexell aurinkosähköjärjestelmät.)

6.4 Aurinkopaneelien huolto ja kunnossapito

Aurinkosähköjärjestelmät ovat käytännössä katsoen huoltovapaita. Joissain olosuhteissa paneeleja voi olla tarpeen pestä vedellä tai harjata pehmeällä harjalla, etenkin jos paneelien pinnalla on näkyvää pölyä tai likaa. Paneelien pinnalta kannattaa poistaa myös puiden lehdet, risut ja muut vastaavat roskat, sillä ne varjostavat paneeleita jolloin ne eivät toimi parhaalla mahdollisella tavalla. Huoltotöitä tehtäessä on tärkeää varoa vahingoittamasta paneelien lasipintaa. Liikkumista ja kävelyä paneelien päällä on myös syytä välttää, sillä ne saattavat murtua. (Motiva Oy 2016f.)

Myös paneelien päälle kertyvä lumi vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän tuottoon. Lumen poistaminen itse ei ole kuitenkaan kannattavaa ainakaan katolle asennetuilta paneeleilta, sillä paneelit saattavat vaurioitua. Talviaikana aurinkonsäteilyä ei ole juurikaan, joten paneelien tuotanto on vähäistä. Lumi sulaa tai valuu helposti pois itsestään kallellaan olevien paneelien pinnoilta, kun aurinko alkaa taas paistaa paneelin tummaan pintaan. (Motiva Oy 2016f.)

7 Hajautettua sähkön pientuotantoa

Lain määritelmän mukaan sähkön pientuotantoa on kaikki teholtaan enintään 2 MVA:n tuotantolaitteistot. Pienimuotoinen sähkön tuotanto tehdään yleensä aurinkoenergialla, tuulivoimalla ja pienvesivoimalla. Käytössä on myös pieniä CHP-laitoksia, joissa tuotetaan sekä sähköä että lämpöä, ja myös biokaasua käytetään pienimuotoiseen tuotantoon. (Energiateollisuus ry 2016a.)

Suurin kasvu tällä hetkellä on aurinkosähkön mikrotuotannossa. Mikrotuotannolla tarkoitetaan sähkönkäyttöpaikan yhteydessä olevaa sähköntuotantolaitosta, jonka ensisijainen tarkoitus on tuottaa sähköä kulutuskohteeseen. Mikrotuotantolaitoksen tehorajaksi on määriteltä 100 kVA. Tavallisesti laitteistojen teho on muutamista kilowateista muutamiin kymmeniin kilowatteihin. (Energiateollisuus ry 2016a.)

Omakotitalot, maatalot tai pienyritykset, jotka sijaitsevat olosuhteiltaan ja ympäristöltään suotuisalla paikalla, ovat kohteita, joiden kannattaa harkita sähkön tuotantoa lähinnä omiin tarpeisiinsa esim. tuulivoimalla tai aurinkopaneeleilla. (Energiateollisuus ry 2016a.)

Sähköntuottajaksi voi ryhtyä kuka tahansa. Sähköverkonhaltijan tehtävänä on huolehtia verkon luotettavuudesta ja taata sähkön jakelun moitteeton toiminta. Verkon on oltava turvallinen kaikille verkon käyttäjille myös tuotantolaitoksen liittämisen jälkeen. Valitsemalleen sähkönmyyjälle voi halutessaan myydä tuottamansa sähkön omasta kulutuksesta ylijäävän osan. Sähkönmyyjät, jotka ostavat pientuotettua sähköä voi, tarkistaa Energiaviraston Sähkönhinta-palvelusta. (Energiateollisuus ry 2016a.)

Ennen pientuotantolaitoksen sähköverkkoon liittämistä tulee laitoksen hankkijan tarkistaa paikalliselta verkkoyhtiöltä tuotantolaitoksen verkon liittämistä koskevat velvoitteet ja ohjeet. Tuotantolaitosten sähköverkkoliitännän ja sähköisten ominaisuuksien tulee olla sähköturvallisuusstandardien sekä sähkömagneettisten

yhteensopivuusstandardien mukaiset. Laitteiden ollessa standardien mukaisia, saadaan varmistettua, että sähköverkossa työskentelevät asentajat voivat tehdä työnsä turvallisesti ja että verkossa olevan jännitteen laatu täyttää vaatimukset tuottajalle itselleen sekä muille verkon käyttäjille. Tuotantolaitoksen asennustyöt voi tehdä ainoastaan sähköalan ammattilainen. Ilmoituksen verkkoyhtiölle nimellisteholtaan enintään 100 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä voi tehdä Energiateollisuus ry:n suosittelemalla yleistietolomakkeella. (Energiateollisuus ry 2016a.)

7.1 Sähköverkkoon liittymisen vaatimukset

Ennen aurinkosähköjärjestelmän liittämistä sähköverkkoon pitää järjestelmälle saada paikallisen sähköjakeluverkon omistaja lupa. Yhteyttä sähköjakeluyhtiöön kannattaa ottaa jo hyvissä ajoin järjestelmän suunnitteluvaiheessa. Energiateollisuus ry:n suositus on, että sähköjakeluverkkojen omistajien tulee hyväksyä aurinkosähkön mikrotuotantolaitteistot verkkoonsa. Mikrotuotannolla tarkoitetaan järjestelmää, jonka huipputeho on enintään 100 kW ja jonka sähköntuotanto kuuluu pääsääntöisesti omassa kohteessa. Sähköverkkoon kytkeminen vaatii laitteistoilta tietyt tekniset vaatimukset. Suomessa käytetään yleensä saksalaisen VDE-AR-N_4105-vaatimusdokumentin täyttämiä aurinkosähköjärjestelmiä. (OMAK asennusopas, Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013.)

Sähköjakeluverkon omistajalle tulee toimittaa mikrotuotannon yleistietolomake. Sen täyttää aurinkosähköjärjestelmän omistaja tai asennukset tekevä sähköurakoitsija. Kun aurinkosähköjärjestelmä on valmis ja asennettu, tekee urakoitsija sille käyttöönottotarkastuksen, josta laaditaan pöytäkirja. Tämä pöytäkirja toimitetaan myös jakeluverkon omistajalle. (OMAK asennusopas, Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013.)

Aurinkosähkön tuotantoa ja kohteen kulutusta on vaikea saada laskettua niin, että kaikki tuotettu sähkö kuluisi omassa käytössä, Mikrotuottajille syntyy myös näin ylijäämäsähköä. Ylijäämäsähkön myynnistä on tehtävä sopimus sähköyh-

tiön kanssa. Yleensä ylituotettu sähkö myydään samalle yhtiölle, miltä se ostateinkin. (OMAK asennusopas, Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013.)

7.2 Tuotetun ylijäämäsähkön myynti

Aurinkopaneelien tuottama ylijäämäsähkö voidaan myydä, jos aurinkosähköjärjestelmä on liitetty sähköverkkoon ja aurinkosähkön tuottaja on tehnyt sopimuksen sähkönmyyjäyhtiön kanssa ylijäämäsähkön myymisestä. Sähköä ei saa syöttää verkkoon, ennen kuin sille on ostaja. Suomessa verkkoon syötettyä sähköä mitataan tunneittain verkkoyhtiön sähkömittareilla. Tämä ei tuo lisäkustannuksia sähköntuottajalle. (Motiva Oy 2016i.)

Sähkön siirrosta ja -mittaroinnista sekä pientuotantolaitteiston verkkoon liittämisestä vastaa paikallinen jakeluverkkoyhtiö. Jakeluverkkoyhtiötä ei voi vaihtaa eikä kilpailuttaa, koska niillä on jokaisella omat ylläpitämänsä sähköverkot. (Motiva Oy 2016i.)

Sähkön vähittäismyyntiä harjoittavat yritykset myyvät sähköenergiaa kotitalouksille ja muille sähkön käyttäjille sekä ostavat pientuottajan tuottaman ylijäämäsähkön (vähittäismyyjistä kaikki eivät osta sähköä). Sähkön myyjän voi valita vapaasti ja sen voi vaihtaa. (Motiva Oy 2016i.)

8 Rakennusluvan tarve aurinkosähköjärjestelmälle

Aurinkoenergiajärjestelmien lupakäytännössä ei ole olemassa koko maata kattavaa yhtenäistä ohjeistusta. Vaadittavista lupakäytännöistä päätehtään kuntakohtaisessa jokaisen kunnan rakennuslupasäädännössä. Kuntien välillä säädännöissä voi olla suuriakin eroja niinpä lupien hinnoissakin erot voivat olla suuria. Toisissa kaupungeissa aurinkojärjestelmien asennusta ei ole lainkaan huomioitu rakennusjärjestyksessä, jolloin lupa-asiat käsitellään tapaus kerrallaan. (FinSolar.)

Joensuun kaupungin rakennusmääräysohjeistuksessa ei ole vielä otettu kantaa rakennusluvan tarpeellisuudesta aurinkosähköjärjestelmille. Alueen aurinkosähkörakentaminen on ollut vielä jokseenkin vähäistä, mutta nyt aurinkosähköjärjestelmien yleistyessä ja kiinnostuksen järjestelmien hankintaan huomattavasti kasvaessa tullaan seuraavassa ohjeistuksen päivityksessä lupa- tarpeeseen ottamaan kantaa. Uusissa rakennuskohteissa aurinkosähköjärjestelmä tulee sisällyttää varsinaiseen kiinteistön rakennuslupahakemukseen. Vanhoissa jo rakennetuissa kohteissa rakennus- tai toimenpideluvan tarpeellisuus käsitellään tapauskohtaisesti. (Herranen 2016.)

Ympäristökunnista myöskään Kontiolahdessa ei ole vielä vaadittu aurinkosähköjärjestelmille rakennuslupaa, vaan toimintamalli on ollut samanlainen kuin Joensuussa.

9 Sähkön hinta ja sähkön hintakehitys

Sähköenergian hinta, sähkönsiirron hinta sekä sähkö- ja arvonlisävero muodostavat sähkön kokonaishinnan. Sähköenergian myyntihinta koostuu tukkumarkkinahinnasta ja myyntikustannuksista. Myymänsä sähkön myyjä voi hankkia esimerkiksi omistamiltaan voimalaitoksilta, tekemiensä pitkäaikaisten sopimusten pohjalta tai pohjoismaisesta sähköpörssistä. Sähkön myyntikustannukset koostuvat normaaleista myynti- ja markkinointikustannuksista. Näitä ovat mm. laskutuksesta ja muusta asiakaspalvelusta sekä hallinnosta aiheutuvat kustannukset. (Energiateollisuus Ry 2016b.)

Sähkönsiirron kokonaishinta koostuu sähkön siirtohinnasta ja erilaisista veroista. Sähkövero maksetaan verkkopalveluista maksettavan laskun yhteydessä. (Energiateollisuus Ry 2016b.)

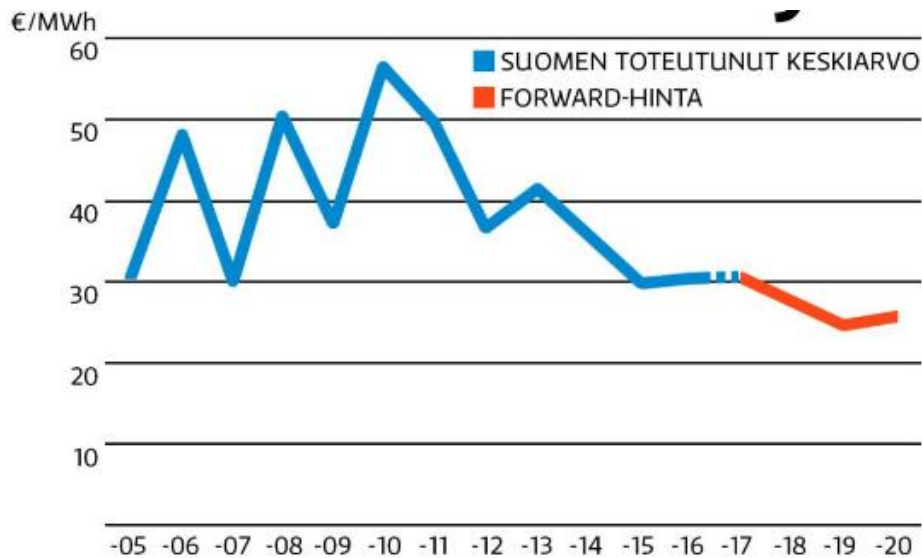
Siirtomaksulla on tarkoitus kattaa sähköyhtiön sähköverkkotoimintaan liittyvät palvelut. Kustannukset aiheutuvat verkkoon sidotusta pääomasta, sähköverkon

ylläpidosta eli kunnostamisesta, kehittämisestä ja uudistamisesta sekä kokonaan uuden verkon rakentamisesta. Palvelun hinta sisältää sähköverkon käytönvalvonnan ja ympärivuorokautisen vikapalvelun, vikojen korjaamisen kaikissa tilanteissa sekä liittymäasiakkaiden puhelin- ja internetpalvelut ja sähköön kulutuksen mittaamisen. Palvelu kattaa johtokatuja vuokrauksen ja ylläpidon raivauksineen. Hintaan sisältyy myös koko maan kattavan kantaverkon rakentamisen ja ylläpidon kustannuksia. (Energiateollisuus Ry 2016b.)

Sähkön siirto muodostaa siis kolmanneksen sähkön loppukäyttäjähinnasta. Siirtohinnoittelulla on täten merkittävä vaikutus sähkön vähittäis- ja kuluttaja markkinahintoihin. (FinSolar.)

Sähkön tukkuhinta on laskenut rajusti Pohjoismaiden sähköpörssissä tuulivoimatuotannon lisääntyessä nopeasti. Sähkömarkkinoiden asiantuntijat muistuttavat siitä, että tuulella ja ydinvoimalla tuotettua sähköä tulee lähivuosina lisää järjestelmään. Sähkön kysynnän kasvun taas odotetaan pysyvän maltillisena suhteessa tarjonnan lisääntymiseen. (Yle Talous 2016.)

Sähkön hintakehitystä on vaikea varmuudella ennustaa, mutta pörssissä tapahtuvasta sähkön johdannaiskaupasta saa hyvän viitteen tulevasta hintatasosta. kuvan 7 grafiikasta voidaan nähdä, että sopimukset tulevasta sähkökaupoista eli sähköforwardit menevät Pohjoismaissa alaspäin aina vuoteen 2019 saakka. (Yle Talous 2016.)



Kuva. 7. Yle Uutisgrafiikka. Forward on sähkön johdannaismarkkinoiden tuote. Se on sopimus tulevaisuudessa tehtävässä kaupasta.

10 Energiatuet yrityksille

Yritysten ja yhteisöjen on mahdollista saada energiatukea investointi- ja kehittämissankkeisiin, kun niillä edistetään uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, energian säästöä tai jos investoinnilla pystytään vähentämään energian tuotannosta tai käytöstä aiheutuvia ympäristöhaittoja. Erityisesti energiatuella pyritään edistämään uutta teknologiaa ja sen markkinoille saattamista. (energiatehokkaasti.fi.)

Vuonna 2016 hakemukset toimitettiin oman alueen ELY-keskukseen, mutta tuen hallinnointi ja päätökset tehtiin keskitetysti Pirkanmaan ELY-keskuksessa. Investointikustannusten noustessa yli 5 miljoonan euron ja uutta teknologiaa sisältävien hankkeiden käsittely tapahtui TEMin energiaosastolla. (energiatehokkaasti.fi.)

Vuoden 2017 alusta energiatukien hakeminen, myöntö ja maksatus siirtyvät kuitenkin TEKESiin. Tukilinjaukset tulevat TEMistä alkuvuodesta 2017 ja tukiprosentit saa selville TEMin ja TEKESin internetsivuilta. Uudet vuoden 2017 mää-

rärahat ovat yleensä olleet haettavissa heti tammi/helmikuun vaihteessa. (Kinttula 2016.)

Seuraavasta taulukosta näkyvät yritysten uusiutuvan energian investointituet vuonna 2016. Aurinkosähköhankkeissa sen suuruus on 25 prosenttia.

Taulukko5. Uusiutuvan energian investoinnit vuonna 2016 (tavanomainen teknologia)(TEM)

Lämpökeskushankkeet (puu polttoaineet)	10–15 %
Lämpöpumppuhankkeet	15 %*
Aurinkolämpöhankkeet	20 %
Pienvesivoimahankkeet	15–20 %
Kaatopaikkakaasuhankkeet	15–20%
Aurinkosähköhankkeet	25 %
Biokaasuhankkeet	20–30 %
Pientuulivoimahankkeet	20–25 %

11 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on mitoittaa mahdollisimman sopivankokoinen aurinkosähköjärjestelmä S-market kokoluokan kauppaliikkeeseen. Mitoituksen tavoitteena on, että mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä menee marketin omaan käyttöön. Aurinkosähköjärjestelmä sopii hyvin tällaiseen yksikköön, koska energiankulutus on suurinta juuri päivällä, kun aurinko paistaa ja varsinkin kesällä kylmälaitteet tarvitsevat paljon sähkövirtaa.

Tarkoituksena on myös selvittää rakennusluvan tarve aurinkosähköjärjestelmälle rakennusviranomaiselta ja mahdollisen tuotannosta jäävän ylijäämäsihtin myyntimahdollisuus sähköjakeluyhtiön verkkoon.

Investoinnin kannattavuutta arvioidaan nykyarvomenetelmällä ja sisäisen koron menetelmällä. Kannattavuuslaskelmia mallinnetaan herkkyyssanalyysillä käyttämällä laskennassa sähkönhinnan muutoksia ja verrattaessa investoinnin kannattavuutta investointituella ja sitä ilman.

12 Opinnäytetyön toteutus, työtavat ja menetelmät

Opinnäytetyö on luonteeltaan kvantitatiivinen. Apuna on käytetty valmiita laskentaohjelmia ja laskentakaavoja, joilla on voitu laskea aurinkosähköjärjestelmän tuottoa ja sen perusteella kannattavuutta. Opinnäytetyössä käytetyn mitoituksen ja laskentaohjelman tuloksia voidaan pitää tarpeeksi luotettavina. Tutkimuksessa käytetyt laskurit olivat tarkoitukseensa sopivia ja jo aikaisemmin ammattimaisessa käytössä olleita. Niiden antamat tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa antavia, eivätkä täsmällisen tarkkoja.

Määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus on tieteellistä tutkimusta, jossa kohdetta kuvataan ja tulkitaan tilastojen ja numeroiden avulla. Määrällisessä tutkimuksessa ollaan usein kiinnostuneita erilaisista luokitteluista, eri tekijöiden muutosten vaikutuksesta toisiin tekijöihin ja tuloksiin. Siinä pyritään suorittamaan vertailua ja selittämään numeerisiin tuloksiin perustuvia ilmiöitä. Määrälliseen menetelmäsuuntaukseen sisältyy runsaasti erilaisia laskennallisia ja tilastollisia analyysimenetelmiä. (Jyväskylän yliopisto 2015.)

12.1 Aineisto

Aineistona ja materiaalina opinnäytetyössä on käytetty aurinkosähköstä julkaisua kirjallisuutta, internetsivustoja ja aurinkosähköstä tehtyjä opinnäytetöitä. Tietoa on myös kerätty puhelinhaastatteluilla, sähköpostikyselyillä ja osallistumalla aurinkosähköä käsitteleviin tapahtumiin. Tapahtumia olivat mm. Energiapläjäys Kiteellä 10.2.2016, Aurinkoenergia ilta Joensuussa 17.3.2016 ja Aurinkopaneelien yhteistilaus info Joensuussa 20.9.2016. Käytössä oli S-market Siilaisen kat-

to piirustukset sekä kiinteistön kulutustiedot tuntikohtaisina vuodelta 2015, jotka on saatu Pohjois-Karjalan Osuuskaupalta. Rakennuksen sijainti ja sijoittuminen ilmansuunnan mukaan saatiin kansalaisen karttapaikka internetsivustolta.

12.2 Laskentamenetelmät ja mallintaminen

Laskelmissa käytettiin työkaluna PV-simulation-ohjelmaa, joka saatiin käyttöön opiskelija lisenssillä. PV-Simulaatio 3D on rakennusten aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu- ja mitoitusohjelmisto. PV-Simulaatio on Hottgenroth GmbH:n kehittämä ja ylläpitämä ohjelma, ja se on rakennettu Hottgenrothin omalle CAD-pohjalle.

Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotannon laskeminen perustuu ympäristöministeriön vuonna 2012 julkaisemaan ohjeistukseen. Oppaan menetelmällä lasketaan aurinkosähkökennojen (PV-kennojen) tuottama sähköenergia. PV-simulation ohjelma käyttää säteilyn tuoton laskentaan Meteonormin tuottamaa ilmastodataa. Se on saman kaltainen kuin EU-projektin PV-GIS- laskuri. Näiden molempien avulla voidaan kartoittaa aurinkoenergian resursseja ja arvioida aurinkojärjestelmien sähköntuotantoa. Investoinnin kannattavuutta selvitettiin käyttämällä nykyarvomenetelmää ja sisäistä korkoa. Apuna laskelmissa käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Herkkyysanalyysillä selvitettiin tietyn muuttujan vaikututusta lopputulokseen.

13 Mitoitettava kiinteistö

S-market Siilainen on vuonna 2014 valmistunut 27:s Pohjois-Karjalan Osuuskaupan S-Marketeista. Se sijaitsee Joensuun Siilaisen kaupunginosassa ja kooltaan se on noin 800 neliötä (Kuva 8 ja Kuva 9).



Kuva 8. S-market Siilainen (Kuva: S-kanava).

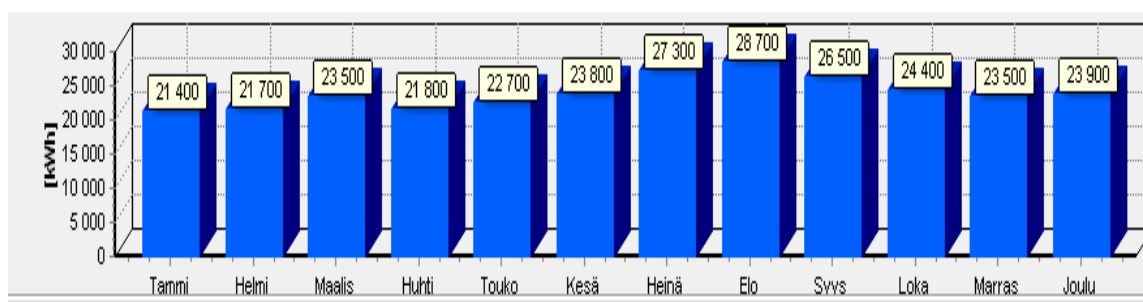


Kuva 9. Ilmakuva S-market Siilaisesta ja sen ympäristöstä (Kuva: Kansalaisen karttapaikka).

Kiinteistössä on hiilidioksidikylmäjärjestelmä, minkä ansiosta yksikön energiankulutus on huomattavasti vanhempaa S-marketia pienempi. Ympäristö- ja energiaystävällisessä hiilidioksiditeknikassa on yhdistetty LVI, kylmäkalusteet ja rakennustekniikka uudella toimintamallilla. Kylmätekniikan tuottama lauhdelämpö avulla pystytään lämmittämään kohteen lämmin käyttövesi ja vesikiertoinen lattialämmitys pystyy lämmittämään miltei koko kiinteistön. Lattialämmityksen matalalla lämmitysverkoston lämpötilalla saadaan lauhdelämpö parhaiten hyödynnettyä. Kovimmilla pakkasilla tarvittava lisälämpö saadaan kaukolämmöstä. Kaikki kohteen kylmäkalusteet ovat lisäksi ovellisia ja kannellisia. Myymälän valaistukseen on käytetty led-tekniikkaa, mikä sekin säästää energiaa. (S-kanava.)

13.1 Kiinteistön sähkönkulutus

Kiinteistö valittiin referenssikohteeksi juuri nykyaikaisen tekniikkansa ja sähkönkulutuksensa vuoksi, sillä varsinkin uudet rakennuskohteet tullaan toteuttamaan samankaltaisesti. Suurin osa sähköenergian tarpeesta menee valaistukseen ja kylmälaitteisiin. Kulutustiedot oli saatavilla kokonaiselta vuodelta. Ne saatiin vuodelta 2015 tuntikohtaisina Excel-tiedostoina, ja ne pystyttiin siirtämään suoraan myös PV-simulation-ohjelmaan. Sähkön kokonaiskulutus oli 289 398, 46 kWh/a.

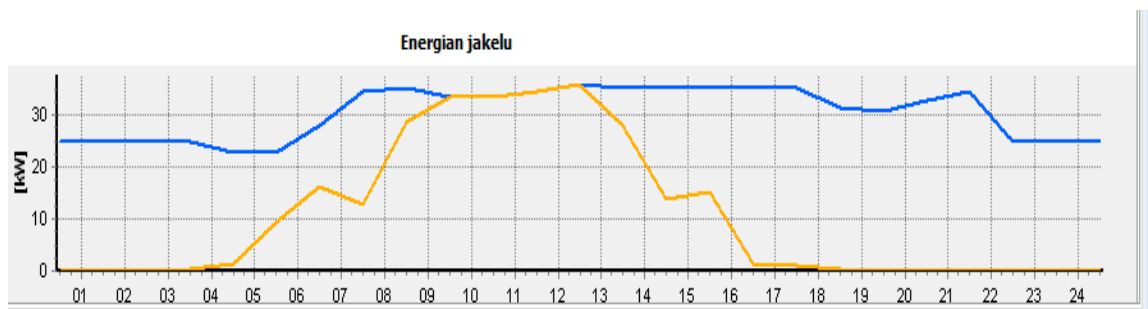


Kuva10. S-market Siilaisen sähkönkulutusprofiili 2015 (Kuva: PV-Simulation mallinnus).

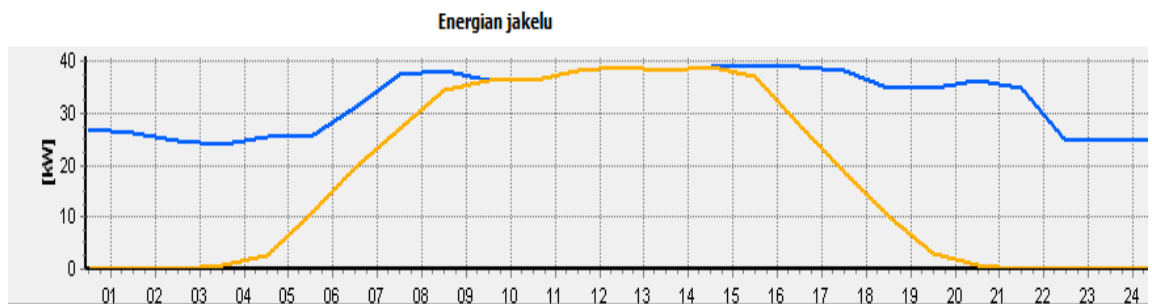
Kuvasta nähdään, että kulutus nousee varsinkin kesäkuukausien aikana, jolloin kylmälaitteet joutuvat kovimmalle käytölle. Tällöin saadaan suurin tuotto aurin-

kosähkövoimalasta, joten kohde sopii sähkön kulutusprofiililtaan hyvin aurinkosähkön tuottamiseen

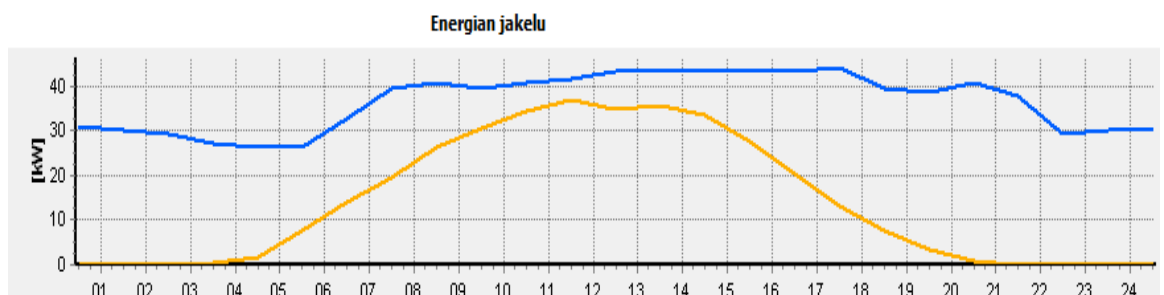
Myös vuorokautista tuntikohtaista kulutusta katsottaessa nähdään energian kulutuksen olevan suurinta juuri päivällä, kun aurinkoenergiaa on parhaiten tarjolla. Seuraavat kuvat näyttävät kesäajalta vuorokautisen tuntikohtaisen kulutuksen ja aurinkosähköjärjestelmän tuoton. Ne on valittu touko-, kesä-, ja heinäkuulta. Päiväksi on valittu jokaisen kuukauden 16. päivä. Sininen käyrä kuvaa kohteen kulutusta ja keltainen tuottoa.



Kuva 11. Vuoden 2015 toukokuun 16. päivän kulutus ja tuottokäyrä (Kuva: PV-simulation mallinnus).



Kuva 12. Vuoden 2015 kesäkuun 16. päivän kulutus ja tuottokäyrä (Kuva: PV-simulation mallinnus).



Kuva 13. Vuoden 2015 heinäkuun 16. päivän kulutus ja tuottokäyrä (Kuva: PV-simulation mallinnus).

Kulutuskäyristä nähdään, että kohteen sähkönkulutus alkaa nousta, kun markettiin tullaan aamulla töihin ja se avataan. Selkeä kulutuksen nousu alkaa kello 6 jälkeen, tällöin lisätään valaistusta ja kylmlaitteiden ovia aletaan aukoa. Samaan aikaan voidaan havaita, että aurinko alkaa paistaa ja aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä. Illalla taas kulutuskäyrä alkaa laskea kello 21.30 jälkeen kun market sulkeutuu. Aurinkosähkön tuotto on loppunut jo hiukan aikaisemmin kello 19 jälkeen.

14 Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja aurinkosähköjärjestelmän tuotto

Kohteen aurinkojärjestelmän mitoituksessa käytettiin työkaluna PV-simulaation 3D rakennusten aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu- ja mitoitusohjelmaa. Kulutustiedot voitiin syöttää ohjelmaan suoraan Excel-taulukkona. Nämä tuntikohtaiset kulutustiedot ovat saatavilla Suomessa miltei kaikista käyttöpaikoista ja saadaan pyydettäessä omalta sähköyhtiöltä.

Syötetyistä tuntikohtaisista kulutustiedoista ohjelma muodostaa kulutusprofiilin, joista ohjelma mitoittaa ja laskee pohjakulutuksen mukaan vastaavan ajan aurinkosähkön tuoton. Mitoituksen lähtökohtana oli, että suurin osa tuotetusta sähköstä tulee kiinteistön omaan käyttöön. Ylijäämänsähkön tuottaminen alentaa investoinnin kannattavuutta, koska siitä maksettava korvaus on vain sen hetkinen sähkön pörssihinta.

Aurinkosähköjärjestelmän paneeleiksi valittiin 295 kpl. Worldwide Energy and Manufacturing (Amerisolar) AS-6P 255 paneeleita. Inverttereiksi valittiin 3 kpl. ABB TRIO-27.6-TL-OUTD laitetta. Molemmat sekä paneelit että invertterit ovat yleisesti ja maailman laajuisesti käytettyjä luotettavia tuotteita. Nämä molemmat löytyivät myös PV-simulation-ohjelman tarvikeluettelosta, joten ne saatiin valittua suunnitteluun sieltä.

Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän kooksi valittiin 75,2 kWp, sillä tällöin saatiin omakulutusasteen ja verkkoon myytävän osuuden suhde sopivaksi. Näitä omaan käyttöön tulevan ja verkkoon syötettävän sähkön osuuksia voitiin vertailla järjestelmän kokoa vaihtamalla PV-simulaatio 3D -ohjelmassa.

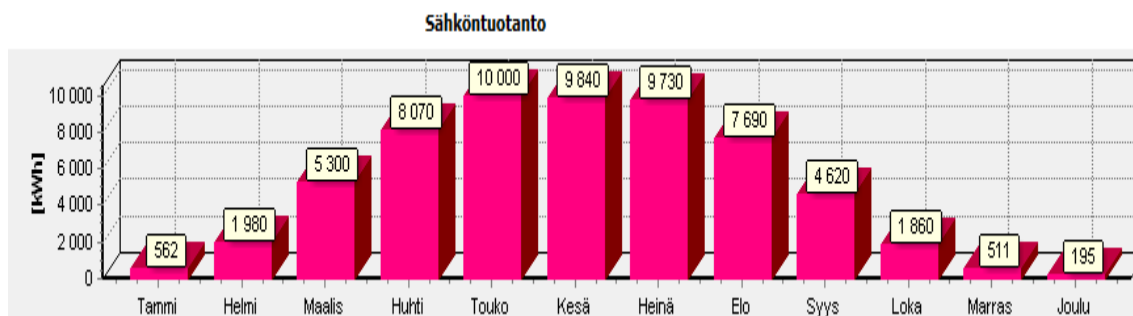
Kiinteistön kattokuvista tarkistettiin paneeliston sopiminen katolle. Vapaata kattopinta-alaa oli n. 800 m² ja Järjestelmän bruttopinta-alaksi saatiin 572,4 m². Rakennus on tasakattoinen, jolloin järjestelmän asennus yleisimmin tehdään tasakattoasennukseen tarkoitetuilla kelluvilla telineillä, jotka on tuettu painoilla. Tällaisella asennuksella saadaan paneeleille hyvä tuuletus, joka parantaa niiden tuottoa. Mitoituksessa on käytetty paneelin suuntauksena etelää ja kallistuskulma on 15 astetta. Sähkön tuottoa olisi voitu jakaa enemmän aamupäivälle suuntaamalla paneeleita kaakkoon ja iltapäivälle suuntaamalla paneeleita lounaaseen. Kokonaistuotto saatiin kuitenkin parhaaksi suuntaamalla paneelit etelään.

Aurinkosähköjärjestelmän tuotoksi vuoden 2015 kulutustietojen pohjalta saatiin 60 376 kWh, josta omaan käyttöön meni 56 907 kWh. Verkkoon syötettävää ylijäämäsähköä oli 3 469 kWh. Tuottolukemat ovat hyvin suuntaa antavia, mutta eivät kuitenkaan absoluuttisen oikeita. Erot tuottomäärissä eri vuosien välillä voivat vaihdella paljonkin, mutta pitkällä aikavälillä päästään yleensä lähelle laskelmien keskiarvo lukemia. Tähän vaikuttavat mm. vuosittaiset sääolosuhteet ja auringonpaisteen määrä. Näiltäkin osin laskelmat perustuvat pitkäaikaisiin keskiarvoihin. Lukemia voidaan kuitenkin pitää tarpeeksi luotettavina toimeksiantajan suunnitelmassa aurinkosähköjärjestelmän kokoa.

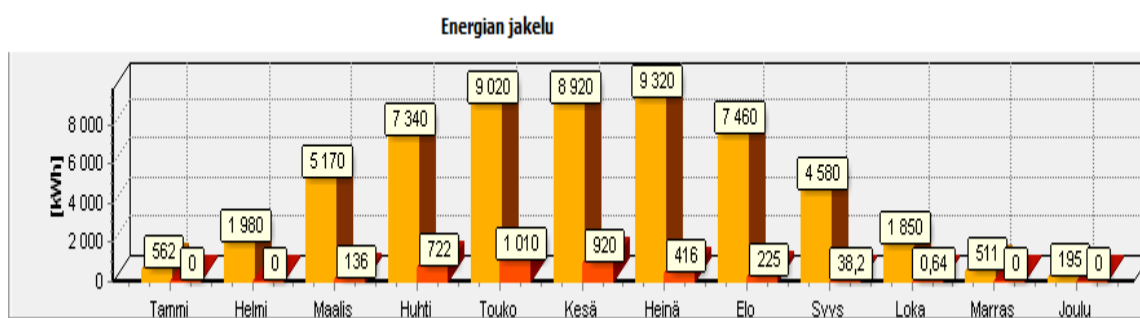
Specific values														
Nimike	Tuotto/v	Yksikkö	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Omakulutusaste	94,3	%	100,0	100,0	97,4	91,0	89,9	90,7	95,7	97,1	99,2	100,0	100,0	100,0
Omavaraisuusaste	19,7	%	2,6	9,1	22,0	33,7	39,7	37,4	34,2	26,0	17,3	7,6	2,2	0,8

Kuva 14. Aurinkosähkö järjestelmän omakulutus- ja omavaraisuusaste vuoden 2015 tuotto- ja kulutustietojen mukaan (Kuva: PV-Simulation mallinnus).

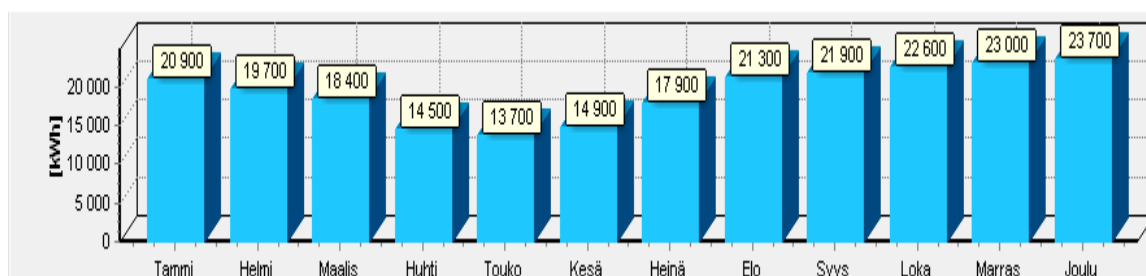
Oman käytön osuus tuotetusta sähköstä oli 93,4 % ja sähkönkulutuksen omavaraisuus 19,7 %. Touko-kesäkuussa omavaraisuusasteessa päästiin miltei 40 prosenttiin.



Kuva 15. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto kuukausittain (kWh) (Kuva: PV-Simulation mallinnus).



Kuva 16. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto kuukausittain omaan käyttöön ja verkkoon. Vasen pylväs: Tuotto omaan käyttöön. Oikean puoleinen pylväs: Verkkoon menevä sähkö (kWh) (Kuva: PV-Simulation mallinnus.)



Kuva 17. Ostosähkön tarve kuukausittain (kWh) (Kuva: PV-Simulation mallinnus).

15 Investoinnin kannattavuus

Kannattavuutta opinnäytetyössä arvioidaan käyttämällä nettonykyarvomenetelmää ja sisäisen korkokannan menetelmää. Varsinkin sisäisen korkokannan menetelmä on toimeksiantajalla käytössä investointien kannattavuutta laskettaessa. Molempiin kannattavuuslaskelmiin käytettiin Excelin valmiita laskentaohjelmia. Kannattavuutta arvioidaan myös käyttämällä herkkyyssanalyysejä eri sähkönhinnan muutoksilla ja tehtäessä hankinta ilman investointitukea.

Aurinkosähköjärjestelmien hinnanlasku on ollut viime vuosina merkittävää, mutta nyt hintojen lasku on alkanut tasaantua, joten sitä ei käytetä herkkyyssanalyyseissä parametrina. Sähkön hintana laskelmissa käytettiin toimeksiantajan ilmoittamaa 8 snt/kWh. Tuotetusta ylijäämästä maksetaan tuntikohtaisesti tuottamisen aikaista pörssisähkö hintaa. Pörssisähkön hinta on ollut 3-4 snt/kWh, tämän opinnäytetyön hintana on käytetty 4 snt/kWh. Tällä hinnalla ei ollut suurta merkitystä investoinnin kannattavuuteen, koska ylijäämätuotanto oli varsin vähäistä. Aurinkopaneelien tehontuoton laskennassa on käytetty vuosittaista 0,7 %:n lineaarista alenemista.

Laitteiston hinta on laitetoimittajilta saatu keskihinta tämän kokoluokan aurinkosähköjärjestelmälle. Ilman yrityksen saamaa 25 %:n yritystukea hinta on 86 000 € ja investointituen kanssa 64 500 € avaimet käteen periaatteella. Hinnat on ilmoitettu ilman arvonlisäveroa. Laitteiston investointilaskelmissa on otettu huomioon inventtereiden vaihto noin puolivälissä laitteiston elinkaarta. Kolmen invertterin vaihtoon kuluva meno 7 800 € on diskonttaamalla muutettu nykyarvoon laitteiston elinkaaren 15 vuoden kohdalla.

15.1 Investointilaskelma diskonttaamalla

Laitteiston tekniseksi eliniäksi on valittu 30 vuotta, jonka jo melkein kaikki laitteistotoimittajat lupaavat laitteistoilleen. Herkkyyssanalyyseihin on muuttujaksi valittu sähkönhinnan vuosittainen kehitys. Aurinkosähköjärjestelmän hinta on 64 500 € investointituen kanssa. Laskelmissa on käytetty korkona 6,0 %.

Sähköhinnan nousu 1,5 % vuodessa

Tuottojen nykyarvo	67 013 €
Kustannusten nykyarvo	64 500 €
Erotus	2 513 €

Sähköhinnan nousu 2,0 % vuodessa

Tuottojen nykyarvo	70 956 €
Kustannusten nykyarvo	64 500 €
Erotus	6 456 €

Sähköhinnan nousu 2,5 % vuodessa

Tuottojen nykyarvo	75 230 €
Kustannusten nykyarvo	64 500 €
Erotus	10 730 €

Näillä kohtuullisen maltillisillakin sähköhinnan nousuilla investointi on kannattava, koska investoinnin nykyarvosumma on suurempi kuin investoinnin hankintameno.

Kun lasketaan Investoinnin kannattavuutta diskonttaamalla ilman investointitukea, aurinkosähköjärjestelmän hinta oli 86 000 €. Laitteiston elinikä 30 vuotta ja herkkyysanalyysin muuttujana oli sähköhinnan vuotuinen kehitys. Korko on 6,0 %.

Sähköhinnan nousu 1,5 % vuodessa

Tuottojen nykyarvo	67 013 €
Kustannusten nykyarvo	86 000 €
Erotus	– 18 987 €

Sähköhinnan nousu 2,0 % vuodessa

Tuottojen nykyarvo	70 956 €
Kustannusten nykyarvo	86 000 €
Erotus	– 15 044 €

Sähkönhinnan nousu 2,5 % vuodessa

Tuottojen nykyarvo	75 230 €
Kustannusten nykyarvo	86 000 €
Erotus	– 10 770 €

Ilman investointitukea aurinkosähköjärjestelmän investoinnista ei saada diskonttausmenetelmällä kannattavaa, koska tuottojen ja kustannusten erotus on negatiivinen.

15.2 Investointilaskelma sisäisen korkokannan menetelmässä

Sisäisen korkokannan menetelmässä käytetään samaa laitteiston elinikää ja sähkönhinnan kehitystä. Sähkön hintana on 8 snt/kWh ja ylijäämäsähkön myyntihintana 4 snt/kWh. Toimeksiantajan tuottovaatimus sisäiselle korolle on 6,0 %. Aurinkosähköjärjestelmän hinta investointituella 64 500 €.

Sähkönhinnan nousu 1,5 % vuodessa

Tällöin investoinnin sisäinen korkokanta on 6,3 %.

Sähkönhinnan nousu 2.0 % vuodessa

Tällöin investoinnin sisäinen korkokanta on 6,9 %.

Sähkönhinnan nousu 2,5 % vuodessa

Tällöin investoinnin sisäinen korkokanta on 7,4 %.

Toimeksiantajan käyttämä sisäisen korkokannan menetelmän korkoraja on 6,0 %, joten investointi on myös näin kannattava investointituen kanssa.

Investoinnin hinta ilman investointitukea oli 86 000 € ja muut käytetyt arvot samat, kuin laskelmissa investointituen kanssa.

Sähkönhinnan nousu 1,5 % vuodessa

Tällöin investoinnin sisäinen korkokanta on 3,9 %

Sähkönhinnan nousu 2 % vuodessa

Tällöin investoinnin sisäinen korkokanta on 4,4 %

Sähkönhinnan nousu 2,5 % vuodessa

Tällöin investoinnin sisäinen korkokanta on 4,9 %

Ilman investointitukea sisäisen korkokannan menetelmälläkään ei investoinnista saada kannattavaa, kun toimeksiantajan vaatimus on 6,0 %

16 Pohdinta

Aurinkosähköjärjestelmän hankinta on nykypäivää, ja se on kannattava investointi. Laitteistojen hinnanlasku on tasaantunut, mutta yrityksille maksettava investointitukea on vielä mahdollista saada 25 % investoinnin hinnasta. Investointituen määrän laskemisella voikin olla merkittäväkin vaikutus investoinnin kannattavuuteen tulevaisuudessa. Aurinkosähköjärjestelmien käyttöiät ovat noin 30 vuotta, ja jotkut valmistajat lupaavat käyttöikää jopa 40 vuotta. Laitteistot ovat miltei huoltovapaita ja laadunseuranta paneelien valmistuksessa tarkkaa tunnetuimmilla valmistajilla, joiden laitetakuuseen voi luottaa. Hyvin harvinaista onkin, että paneeli tai paneeleja menee rikki tai niissä on valmistusvikoja.

Sähkön hinnan kehitys on tällä hetkellä maltillista, mutta todennäköisesti hinta tulee nousemaan pitkällä aikavälillä. Varsinkin verkkoyhtiöiden sähkönsiirto maksut ovat nousseet merkittävästi. Tämä luonnollisesti parantaa investoinnin kannattavuutta. Herkkyysanalyysissä käytettiin muuttujana maltillista vuosittaista hinnannousua ja investointituen kanssa saatiin kaikilla käytetyillä vaihtoehtoilla investoinnista kannattava.

Suomeen tuleva auringon säteily on Etelä-Suomessa Pohjois-Saksan tasolla, joten aurinkoenergiaa on meillä hyvin saatavilla. Meillä aurinkosähkön tuotanto

jakaantuu vain epätasaisemmin eri vuodenajoille. Suomessa voidaan pitää etuna viileämpää ilmastoa, koska paneelit toimivat tällöin paremmin. Varsinkin keväällä, mutta myös syksyllä se vaikuttaa paneelien tuottoon. Oikea mitoitus on tärkeää, koska verkkoon syötettävästä sähköstä saatu korvaus on alhainen ja siinä hävitään aina sähkönsiirtomaksu ja verot.

Aurinkosähkön tuottaminen on täysin päästötöntä, sillä vain aurinkosähkölaitteistojen valmistuksesta tulee päästöjä. Tämä luo positiivisen kuvan yrityksestä, joka haluaa olla mukana parantamassa ilmaston laatua ja ympäristön hyvinvointia. Aurinkosähköjärjestelmän tuoton seuranta voidaan järjestää niin, että se on näkyvillä kaupassa asioiville asiakkaille esimerkiksi tv-monitorin kautta. Sen kautta voidaan esitellä ja havainnollistaa erilaisilla esimerkeillä aurinkosähköstä saatua hyötyä ja ympäristövaikutuksia. Hiilidioksidi (CO₂) päästöjen vähentyminen vuoden 2015 tuottotietojen 60 376 kWh perusteella olisi ollut 32 386 kg.

Lähteet

- Aurinkoenergia.fi 2016
<http://www.aurinkoenergia.fi/Info/23/aurinkoenergia> 13.4.2016
- Aurinkosähköopas tamperelaisille 2016
http://www.tampere.fi/liitteet/a/6Gkg9C2MG/Aurinkosahkoopas_36660_vedos.pdf 14.4.2016
- Aurinkosähköä Suomeen 2016a
<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/verkkoinvertteri/> 31.3.2016
- Aurinkosähköä Suomeen 2016b
<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/> 2.1.2017
- Aurinkosähköä Suomeen 2016c
<http://aurinkovirta.fi/> 23.11.2016
- Caruna 2016
www.caruna.fi/tietoa-ja-ohjeita/nain-tuotat-oman-sahkosi/mikrotuotanto 27.11.2016
- Energiateollisuus Ry 2016a
http://energia.fi/perustietoa_energiaalasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto 3.1.2017
- Energiateollisuus Ry 2016b
http://energia.fi/perustietoa_energiaalasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkonhin-ta 30.12.2016
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, P. & Suokivi, H. 2008.
 Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen yhdistys ry. Porvoo: Painoyhtymä Oy
- FinSolar 2016a
<http://www.finsolar.net/investointiymparisto/lait-ja-saadokset/toimenpideluvat/> 30.12.2016
- FinSolar 2016b
<http://www.finsolar.net/tag/sahkonsiirto/> 30.12.16
- Helsinki University of Technology 2016
<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-toiminta.html> 8.4.2016
- Jyväskylän yliopisto 2016
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus> 1.1.2017
- Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen.
 Helsinki: Into Kustannus Oy
- Motiva Oy 2016a
http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkonperusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa 13.4.2016
- Motiva Oy 2016b
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa 14.4.2016

Motiva Oy 2016 c

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/a_urinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat
28.12.2016

Motiva Oy 2016 d

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/a_urinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho
2.1.2017

Motiva Oy 2016 e

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/a_urinkosahko/hankinta_ja_asennus 2.1.2017

Motiva Oy 2016 f

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/a_urin-kosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/huolto_ja_kunnossapito
3.1.2017

Motiva Oy 2016 g

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/a_urinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen
3.1.2017

Motiva Oy 2016 h

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/a_urin-kosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia 3.1.2017

Motiva Oy 2016 i

http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/yliaamasahkon_myynti
4.1.2017

NeroWatt Oy 2016.

<http://www.aurinkoenergiaa.fi/aurinkoenergiaa.html> 27.12.2016

OMAK asennusopas, Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013

<http://www.oamk.fi/cdn/fileuploads/asennusopas.pdf> 4.1.2017

Photovoltaic-software

<http://photovoltaic-software.com/pvgis.php> 12.4.2016

ProAgria keskusten liitto 2016

<http://energiatehokkaasti.fi/content/energiatuet-yrityksille>
15.12.2016

Rexell aurinkosähköjärjestelmät 2016

<http://www.rexel.fi/globalassets/palvelut/rexel-aurinkoenergia-low.pdf> 4.1.2017

Risto Herranen, Joensuun kaupungin rakennuslupavalvonta, puhelinkeskustelu
29.12.2016

S-kanava 2016

https://www.s-kanava.fi/uutinen/energiapihi-s-market-siilainen-on-avattu/1422116_10834 3.1.2017

Suntekno 2012a

<http://www.suntekno.fi/fi/page/36> 14.4.2016

Suntekno Oy 2012b

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

2.1.2017

Suntekno Oy 2012c

<http://www.suntekno.fi/paneelin%20tuotto> 16.12.2016

Tuominen, V. 2009. PKO yhteistä hyvää 90 vuotta.

Työ – ja elinkeinoministeriö 2016

<http://tem.fi/tuen-enimmaismaarat> 26.12.2016

Veijo Isojunno, insinöörityö 2014

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74844/Isojunno_Veijo.pdf?sequence=1 2.1.2017

Virtuaaliammattikorkeakoulu 2016

<http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojaksot/500/1138278559722/1138279515236/1138279585712/1138283839148.html>

3.1.201

Yle Uutiset Talous 2016

<http://yle.fi/uutiset/3-9150843> 3.1.2016

Yle 2016

http://yle.fi/uutiset/uusiutuva_energia_kasvoi_2015_ennatystahtia/8796639?origin=rss 8.4.2016



GreenEnergy Finland Ltd is a premium turn-key supplier of high quality, cost efficient and reliable renewable energy applications and systems for corporate and private customers

AS-6P30

GreenEnergy Finland's Photovoltaic modules are designed for large electrical power requirements. With a 30-year warranty, AS-6P30 offers higher-powered, more reliable performance for both on-grid and off-grid solar projects.

Key Features

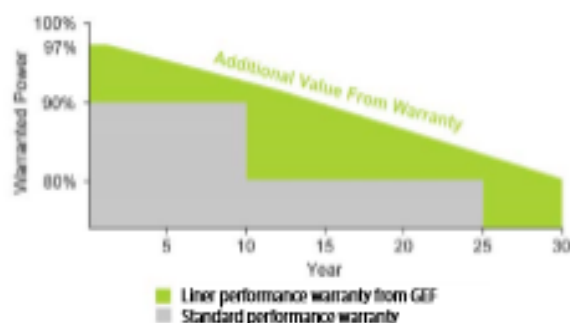
- + High module conversion efficiency up to 16.29% through superior manufacturing technology.
- + Low degradation and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- + Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- + Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.
- + High ammonia and salt mist resistance.

Quality Certificates

- + IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, UL1703, CE, MCS, CEC, Israel Electric, Kemco
- + ISO9001:2008: Quality management system
- + ISO14001:2004: Environmental management system
- + OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system

Special Warranties

- + 12 year limited product warranty.
- + Limited power warranty: 12 years 91.2% of the nominal power output, 30 years 80.6% of the nominal power output.



Electrical Characteristics

Electrical parameters at STC							
Nominal Power (P_{max})	235W	240W	245W	250W	255W	260W	265W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	37.5V	37.7V	37.9V	38.0V	38.1V	38.2V	38.3V
Short Circuit Current (I_{sc})	8.48A	8.57A	8.66A	8.75A	8.83A	8.92A	8.99A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	29.7V	29.9V	30.1V	30.3V	30.5V	30.7V	30.9V
Current at Nominal Power (I_{mp})	7.92A	8.03A	8.14A	8.26A	8.37A	8.47A	8.58A
Module Efficiency (%)	14.44	14.75	15.06	15.37	15.67	15.98	16.29

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5

Electrical parameters at NOCT							
Nominal Power (P_{max})	172W	175W	178W	182W	186W	190W	194W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	34.5V	34.7V	34.9V	35.0V	35.1V	35.2V	35.3V
Short Circuit Current (I_{sc})	6.87A	6.94A	7.01A	7.08A	7.15A	7.21A	7.27A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	27.5V	27.7V	27.9V	28.0V	28.1V	28.2V	28.3V
Current at Nominal Power (I_{mp})	6.38A	6.44A	6.50A	6.56A	6.62A	6.68A	6.74A

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind speed 1 m/s

Mechanical Characteristics

Cell type	Polycrystalline 156x156mm
Number of cells	60 (6x10)
Module dimension	1640x992x40mm
Weight	15.5kg
Front cover	3.2mm low-iron tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP67, 6 diodes
Cable	4mm ² , 900mm
Connector	MC4 or MC4 compatible
Standard packaging	26pcs/pallet
Module quantity per container	728pcs/40 HQ

Temperature Characteristics

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.43%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.33%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.056%/°C

Maximum Ratings

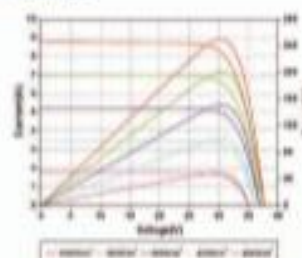
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC
Maximum Series Fuse Rating	15A

Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

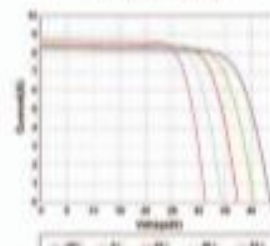
Drawings



I-V Curves



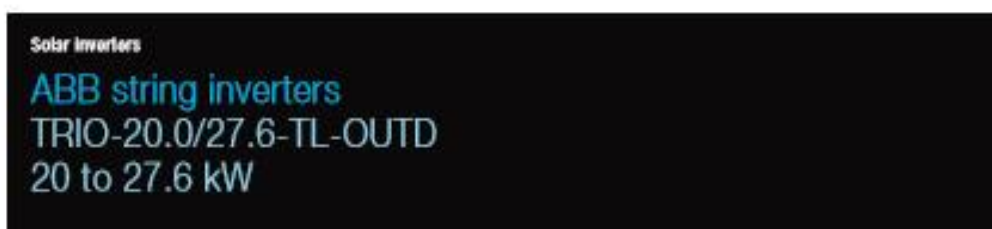
Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures



GreenEnergy Finland Oy
www.gof.fi info@gof.fi
Laserkatu 6, 53860 Lappeenranta
FINLAND



The three-phase commercial inverter offers more flexibility and control to installers who have large installations with varying aspects or orientations.

The dual input section containing two, independent Maximum Power Point Tracking (MPPT), allows optimal energy harvesting from two sub-arrays oriented in different directions.

The TRIO features a high speed and precise MPPT algorithm for real power tracking and improved energy harvesting.

High efficiency at all output levels
Flat efficiency curves ensure high efficiency at all output levels ensuring consistent and stable performance across the entire input voltage and output power range.

This device has an efficiency rating of up to 98.2%.

The very wide input voltage range makes the inverter suitable for installations with reduced string size.

In addition to its new look, this inverter has new features including a special built-in heat sink compartment and front panel display system. The unit is free of electrolytic capacitors, leading to a longer product lifetime.

Highlights of the improved design – first time shown at Intersolar 2014

- True three-phase bridge topology for DC/AC output converter
- Transformerless topology
- Each inverter is set on specific grid codes which can be selected in the field
- Detachable wiring box to allow an easy installation
- Wide input range
- 'Electrolyte-free' power converter to further increase the life expectancy and long term reliability

Invertteri ABB TRIO-27.6-TL-OUTD tekniset tiedot

Liite 2

Additional highlights

- Integrated string combiner with different options of configuration which include DC and AC disconnect switch in compliance with international standards (-S2, -S2F and -S2X versions)
- Natural convection cooling for maximum reliability
- Outdoor enclosure for unrestricted use under any environmental conditions
- Capability to connect external sensors for monitoring environmental conditions
- Availability of auxiliary DC output voltage (24V, 300mA)



Technical data and types

Type code	TRIO-28.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Input side		
Absolute maximum DC input voltage (V_{max})	1000 V	
Start-up DC input voltage (V_{min})	360 V (adj. 250...500 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{min} - V_{max}$)	0.7 x V_{max} ...950 V	
Rated DC input voltage (V_{in})	620 V	
Rated DC input power (P_{in})	20/50 W	28600 W
Number of independent MPPT	2	
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{in,max}$)	12000 W	16000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{in}	440...800 V	500...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null (600V< V_{in} <950V)	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P_{in} , max unbalance example	12000 W (480V< V_{in} <800V) the other channel: P_{in} (2000W (800V< V_{in} <800V)	16000 W (500V< V_{in} <800V) the other channel: P_{in} (16000W (600V< V_{in} <800V)
Maximum DC input current ($I_{in,max}$) / for each MPPT	50.0 A / 25.0 A	64.0 A / 32.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30.0 A	40.0 A
Number of DC inputs pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X and -S2F Versions)	1 (5 in -S2X and -S2F Versions)
DC connection type	Tool Free PV connector VHM / MC4 (Screw terminal block on standard and -S2 versions)	
Input protection		
Reverse polarity protection	Inverter protection only, from limited current source, for standard and -S2 versions, and for fused versions when max 2 strings are connected	
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	2	
Input over voltage protection for each MPPT - plug in modular surge arrester (-S2X version)	3 (Class II)	
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	40 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V	
Output side		
AC grid connection type	Three phase 3W or 4W+PE	
Rated AC power ($P_{out,400V,1}$)	20000 W	27600 W
Maximum AC output power ($P_{out,max,400V,1}$)	27000 W #	30000 W #
Maximum apparent power (S_{out})	22900 VA	30000 VA
Rated AC grid voltage (V_{out})	400 V	
AC voltage range	320...480 V #	
Maximum AC output current ($I_{out,max}$)	32.0 A	45.0 A
Contributory fault current	35.0 A	45.0 A
Rated output frequency (f)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min} - f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz #	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. \pm 0.9 with P_{out} 20.0 kW, \pm 0.8 with max 22.2 kVA	
Total current harmonic distortion	< 3%	
AC connection type	Screw terminal block, cable gland PG35	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum AC overcurrent protection	34.0 A	45.0 A
Output overvoltage protection - varistor	4	
Output overvoltage protection - plug in modular surge arrester (-S2X version)	4 (Class II)	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.2%	
Weighted efficiency @ IFRGCL-C)	98.0% / 98.0%	
Feed in power threshold	40 W	
Stand-by consumption	< mW	